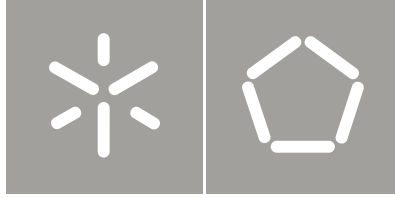


Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Rafael Esteves

Análise de causas da quebra de garrafas  
de vidro em linhas de enchimento de cerveja



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Rafael Esteves

Análise de causas da quebra de garrafas  
de vidro em linhas de enchimento de cerveja

Tese de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor Luís Ferreira da Silva  
Professor Doutor Eurico Seabra  
Engenheiro João Pedro Costa

Texto redigido segundo as regras anteriores ao novo acordo ortográfico

## *Agradecimentos*

Quero aqui deixar um sincero agradecimento a todos os que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

À minha família que tornou tudo isto possível.

À Sílvia pela compreensão e a ajuda que me dedicou.

A todos os meus amigos, futuros Engenheiros, pela disponibilidade.

Aos meus orientadores, Doutor Luís Ferreira da Silva e Doutor Eurico Seabra.

À empresa Unicer Bebidas, S.A. e a todas as pessoas que me acompanharam ao longo do estágio, destacando o Engenheiro João Pedro Costa por todos os conselhos, disponibilidade e partilha de conhecimentos constante.

À empresa BA Vidro, S.A., pela participação activa e interessada.

A todos os que aqui não citei mas que sabem que fizeram parte deste trabalho.

A todos o meu sincero obrigado.



## *Resumo*

Actualmente, as empresas industriais dedicam uma atenção cada vez maior à redução de desperdícios e à optimização dos recursos. Sendo estas as ferramentas que permitem aumentar a eficiência da produção, é fundamental identificar os problemas, avaliar a sua origem e encontrar as soluções mais adequadas para a sua resolução. Neste contexto, com o presente trabalho, pretende-se abordar um problema de quebra de garrafas de vidro em linhas de enchimento de cerveja na empresa Unicer Bebidas, S.A..

Com o objectivo de identificar as principais causas subjacentes ao problema de quebra, pretende-se avaliar o efeito dos processos da linha de enchimento, relacionando as diferentes cargas exercidas nas garrafas durante o seu processamento. A metodologia utilizada também contempla a avaliação de características intrínsecas à garrafa, nomeadamente a identificação dos padrões de fractura e o comportamento da capacidade de resistência destas ao longo do processo de enchimento.

Sendo baseado em ensaios industriais e acompanhamento dos processos, o presente estudo permitiu identificar o processo da linha de enchimento que mais afecta a empresa, bem como associar uma potencial causa ao problema de quebra. Contudo, a realização deste estudo prendeu-se com algumas limitações que, por sua vez, não permitiram que essas conclusões pudessem ser consideradas definitivas.

## *Abstract*

Currently, the industrial companies devote an increasingly attention to the waste reduction and resources optimization. Being these, the tools that allow the increase of production efficiency, it is essential to identify the problems, assess the origin and find the best solution. In this context, with the present thesis, it is intended to approach the problem of the glass bottles breaking on the beer filling lines in Unicer Bebidas, S.A. company.

With the purpose to identify the main causes of the breaking problem, it's intended to evaluate the effect of the filling line processes, linking the different loads exerted on the bottles in the process. The methodology used also includes the evaluation of intrinsic features of the bottle, namely the identification of fractures patterns and the behavior of the resilience of these along the filling process.

Being based in industrial testing and monitoring processes, the present study allowed to identify the process used in the filling line that most affects the company, as well as associate a potential cause of the breaking problem. However, this study caught up with some limitations that, in turn, did not allowed such conclusions to be considered definitive.

# Índice

Agradecimentos .....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Índice.....	v
Índice de Figuras .....	vii
Índice de Tabelas.....	x
Siglas.....	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e objectivos do trabalho .....	1
1.2. Estrutura da tese.....	2
2. Enchimento de cerveja.....	5
2.1. Linha de enchimento.....	6
2.1.1. Princípio de funcionamento .....	9
2.2. Garrafas de vidro.....	20
2.2.1. Projecto para o fabrico .....	21
2.2.2. Processo produtivo .....	22
2.2.3. Especificações técnicas .....	27
2.2.3.1. Definições .....	28
2.2.3.2. Características dimensionais.....	29
2.2.3.3. Propriedades mecânicas.....	29
2.2.3.4. Propriedades térmicas.....	31
2.2.3.5. Características visuais .....	32
3. Análise fractográfica de garrafas de vidro .....	33
3.1. Cargas e tensões em garrafas de vidro .....	33
3.2. Resistência das garrafas de vidro.....	35
3.3. Diagnóstico de fracturas em garrafas de vidro.....	36
3.4. Padrões de fractura em garrafas de vidro .....	39

4. Metodologia.....	41
4.1. Avaliação do processo crítico na linha de enchimento .....	41
4.2. Análise de causas de quebra no processo crítico .....	42
4.3. Avaliação das oportunidades de melhoria .....	43
5. Resultados e discussão.....	45
5.1. Avaliação do processo crítico da linha de enchimento .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2. Avaliação das causas de quebra no processo de paletização...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2.1. Análise de funcionamento do processo de paletização..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2.2. Análise dos rebentamentos nas fases de formação de fiadas.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2.3. Análise fractográfica de garrafas partidas .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2.4. Análise da resistência da garrafa .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.3. Propostas de melhoria .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.3.1. Adaptações nas fases de introdução ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.3.2. Adaptações na fase de empurro .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6. Conclusões e trabalhos futuros .....	46
6.1. Conclusões .....	46
6.2. Trabalhos futuros .....	46
Referências bibliográficas.....	48
Bibliografia e Webgrafia .....	48
 Anexos	
Anexo A – Procedimento operacional de ensaios de impacto	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Anexo B – Folha de registo para acompanhamento da paletização.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Anexo C – Resultado dos ensaios de resistência ao impacto .	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Anexo D – Resultado dos ensaios de resistência a pressão interna.....**Error! Bookmark not defined.**

Anexo E – Catálogo do equipamento Robobox da KRONES® **Error! Bookmark not defined.**

Anexo F – Informações sobre o equipamento de medição de impactos..**Error! Bookmark not defined.**

## *Índice de Figuras*

Figura 1.1 - Embalagens com garrafas partidas em paletes de produto acabado .....	2
Figura 2.1 - Diagrama de processo do serviço de enchimento .....	5
Figura 2.2 - <i>Layout</i> do nível inferior da linha 6 .....	7
Figura 2.3 - <i>Layout</i> do nível superior da linha 6.....	8
Figura 2.4 – Despaletizadora.....	9
Figura 2.5 - Elevador de garrafas da linha 6.....	10
Figura 2.6 – Soprador de garrafas da linha 6.....	10
Figura 2.7 - Inspector de vazio da linha 6 .....	11
Figura 2.8 - Processo de enchimento de uma garrafa de cerveja .....	12
Figura 2.9 - Representação do sistema de enchimento por nível .....	12
Figura 2.10 - Processo de capsulagem .....	13
Figura 2.11 – Pasteurizador da linha 6.....	14
Figura 2.12 – Rotuladora da linha 6 .....	14
Figura 2.13 - Inspeção de nível.....	15
Figura 2.14 - Embaladora e encartonadora da linha 6.....	16
Figura 2.15 - Forno da linha 6 .....	16
Figura 2.16 - Inspector magnético da linha 6 .....	17
Figura 2.17 - Representação da paletes de produto acabado.....	17
Figura 2.18 - Esquema representativo da paletizadora da linha 6 .....	18

Figura 2.19 - Batente para orientação das embalagens.....	19
Figura 2.20 - Fases de formação da fiada na paletizadora.....	20
Figura 2.21 - Processo produtivo de uma unidade fabril de embalagens de vidro.....	23
Figura 2.22 - Forno regenerativo para fusão de vidro .....	24
Figura 2.23 - Processo de moldação Soprado-Soprado.....	25
Figura 2.24 - Processo de moldação Prensado-Soprado .....	25
Figura 2.25 - Processo de moldação <i>NNPB</i> .....	26
Figura 2.26 - Tratamento de superfície a frio .....	27
Figura 2.27 - Nomenclatura utilizada para garrafas de vidro.....	28
Figura 2.28 - Equipamento de medição de pressão interna .....	30
Figura 2.29: Equipamento de medição da resistência ao impacto .....	31
Figura 2.30 - Classificação de defeitos de vidro.....	32
Figura 3.1 - Deformações causadas por cargas de pressão interna .....	34
Figura 3.2 - Simulação computadorizada de uma carga de pressão interna numa garrafa .....	35
Figura 3.3 – Desenvolvimento de um sistema de fractura resultante de um impacto lateral..	37
Figura 3.4 - Propagação perpendicular de uma fractura face a outra existente.....	37
Figura 3.5 - Linhas de Wallner na superfície de fractura indicando o sentido de propagação da fractura .....	38
Figura 3.6 - Espelho de fractura resultante de um ponto de concentração de tensão .....	38
Figura 3.7 - Padrão de fractura para uma carga de pressão interna.....	39
Figura 3.8 - Padrão de fractura para uma força de impacto.....	40

Figura 3.9 - Padrão de fractura resultante de um choque térmico .....	40
Figura 5.1 - Percentagens do tipo de produto com embalagens danificadas nos registos PNC .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5.2 - Matriz de paletização para embalagens <i>4x6Pack</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5.3 - Fases de formação das fiadas ímpares e pares para embalagens <i>4x6Pack</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5.4 - Mapa de coordenadas das garrafas partidas nas diferentes fiadas .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5.5 - Mapa de coordenadas das garrafas partidas na fase 1.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5.6 - Mapa de coordenadas das garrafas partidas na fase 2.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5.7 - Mapa de coordenadas das garrafas partidas na fase 3.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5.8 - Mapa de coordenadas das garrafas partidas na fase 4.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5.9 - Garrafas partidas devido a carga de impacto .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5.10: Garrafas reconstruídas pelo laboratório CRITT.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5.11 - Local de origem da fractura das garrafas A1, A2 e A3.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5.12 - Paletizadora da linha de enchimento 6.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5.13 - Tapete de entrada da paletizadora da linha de enchimento 5.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



Figura 5.14 - Equipamento *ROBOBOX* da marca *KRONES* .Error! Bookmark not defined.

Figura A.1 - Procedimento operacional para realização de ensaios de impacto em garrafas de vidro .....Error! Bookmark not defined.

Figura B.1 - Folha para registo de quebras durante o processo de paletização.....Error! Bookmark not defined.

Figura F.1 - Descrição do equipamento de medição de impactosError! Bookmark not defined.

Figura F.2 - Orçamento para o equipamento de medição de impactosError! Bookmark not defined.

## *Índice de Tabelas*

Tabela 2.1 - Produção de cerveja por embalagem em 2010..... 21

Tabela 2.2 - Composição típica de um vidro sódico cálcico ..... 23

Tabela 5.1 - Resultado da avaliação do processo crítico da linha de enchimento.....Error! Bookmark not defined.

Tabela 5.2 - Resultado dos ensaios de acompanhamento do processo de paletização ....Error! Bookmark not defined.

Tabela 5.3 – Quantidade de garrafas partidas em fiadas ímpares e paresError! Bookmark not defined.

Tabela 5.4 - Quantidade de garrafas partidas por fiadas e fasesError! Bookmark not defined.

Tabela 5.5 - Quantidade de garrafas partidas nas fases de introdução e empurro.....Error! Bookmark not defined.

Tabela 5.6 - Resultado da análise fractográfica das garrafas G1, G2 e G3Error! Bookmark not defined.

Tabela 5.7 - Resultado da análise fractográfica das garrafas A1, A2 e A3**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 5.8 - Informações das amostras recolhidas.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 5.9 - Resultados dos ensaios de impacto para as diferentes zonas da linha.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 5.10 – Resultado dos ensaios de pressão interna para as diferentes zonas da linha  
.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabela C.1 - Resultados dos ensaios de impacto.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabela D.1 - Resultado dos ensaios de rebentamento à pressão interna**Error! Bookmark not defined.**

## ***Siglas***

**APCV** – Associação Portuguesa dos Produtores de Cerveja

**CRITT** – *Centre Régional d’Innovation et de Transfert de Technologie*

**NNPB** – *Narrow Neck Press Blow*

**TP** – Tara perdida

**TR** – Tara retornável

## **1.     *Introdução***

Neste capítulo inicial, após um breve enquadramento da empresa onde se dá a conhecer as suas principais características, apresentam-se os objectivos propostos para este trabalho, assim como, uma descrição do conteúdo de todas as secções da tese.

### **1.1.   *Enquadramento e objectivos do trabalho***

À medida que a competitividade entre as empresas aumenta, é fundamental estas agirem no sentido de reduzirem o máximo de desperdícios. Entendido como sendo toda a actividade que num sistema produtivo não acrescente valor ao produto final, o conceito de desperdício estende-se a todos os erros e formas incorrectas de manuseamento dos materiais utilizados durante o processo de produção.

Inserindo-se dentro da filosofia da procura de eliminação de desperdícios em sistemas produtivos, este estudo consiste numa análise de causas de quebras de garrafas de vidro em linhas de enchimento de cerveja da empresa Unicer Bebidas, S.A..

Com sede e centro principal de produção situado na freguesia de Leça do Balio, no distrito do Porto, a Unicer Bebidas, S.A. é a maior empresa portuguesa de bebidas refrescantes com uma estratégia multimarca e multimercado assenta a sua actividade nos negócios das Cervejas e das Águas engarrafadas. É também notável a presença nos mercados dos refrigerantes, vinhos, na produção e comercialização de malte e no negócio do turismo, detendo dois activos de referência na região de Trás-os-Montes: os Parques Lúdico-Termas de Vidago e Pedras Salgadas [1].

A necessidade deste estudo surge após o aparecimento de sucessivos registos de garrafas de vidro de tara perdida partidas ao longo das linhas de enchimento e em paletes de produto acabado, como evidência a figura 1.1.



**Figura 1.1 - Embalagens com garrafas partidas em paletes de produto acabado**

Através da criação de uma metodologia para relacionar os processos da linha de enchimento com a fragilização e quebra de garrafas de vidro, este estudo tem por objectivo fundamental a proposição de oportunidades de melhoria em equipamentos e procedimentos, que permitam reduzir as quebras e uma actuação mais assertiva nas causas raiz do problema.

Assim, a abordagem a este estudo inicia-se com o objectivo de localizar os pontos da linha de enchimento que potenciem a quebra de garrafas de vidro. A identificação destes locais permitirá avaliar o grau de importância de cada quebra em termos de consequências resultantes. Em paralelo com a avaliação dos locais críticos, pretende-se que sejam quantificadas as ocorrências e determinado de que modo são provocados os rebentamentos.

Por último, inserindo-se na temática global deste estudo, pretende-se avaliar a variação da resistência das garrafas de vidro face ao seu processamento na linha de enchimento, sendo o objectivo principal identificar possíveis causas relacionadas com a quebra de garrafas.

## **1.2. Estrutura da tese**

Após este capítulo introdutório, com o intuito de facilitar a compreensão dos assuntos que envolvem o tema, definem-se as principais características associadas ao enchimento de cerveja. Assim, o Capítulo 2 aborda os princípios de funcionamento de uma linha de enchimento e apresenta uma caracterização da embalagem em que este estudo está centrado, nomeadamente, garrafas de vidro.

No Capítulo 3 analisam-se as bases teóricas nas quais se apoia a análise fractográfica de garrafas de vidro. A complexa sequência de formação de uma fractura justifica a necessidade de uma análise das cargas e tensões associadas a garrafas de vidro durante a sua utilização. As causas de rebentamento de garrafas podem ser caracterizadas através da análise das fracturas resultantes, pelo que nesse capítulo são apresentados os métodos de diagnóstico e os padrões de fractura resultantes das principais cargas existentes durante o processamento de garrafa de vidro em linhas de enchimento.

No Capítulo 4 descrevem-se, em detalhe, todos os passos levados a cabo para a realização deste estudo. Assim, explicam-se os métodos encontrados para superar as limitações existentes e define-se a importância de cada passo para o decorrer da investigação.

Os resultados obtidos, face a metodologia utilizada, apresentam-se no Capítulo 5. Verificando-se a importância de localizar o local mais crítico da linha de enchimento em termos de rebentamentos, apresenta-se um estudo comparativo efectuado entre os vários processos. Neste capítulo apresentam-se os resultados da análise quantitativa de rebentamentos de garrafas no processo crítico e a avaliação das causas adjacentes. Por fim, descrevem-se as várias propostas de melhoria, com o objectivo de minimizar as principais causas de rebentamento identificadas e apresentadas no capítulo anterior.

Por fim, no capítulo 6 apresentam-se as principais conclusões do trabalho efectuado e deixam-se algumas sugestões para trabalho futuro necessário para complementar este estudo.



## 2. *Enchimento de cerveja*

A etapa de enchimento situa-se na fase final do processo de produção de cerveja. De um modo geral, o processo de enchimento é comum à grande maioria das empresas do sector cervejeiro. A embalagem final é o elemento que diferencia o serviço de enchimento, o que leva a que cada linha tenha as suas especificidades de acordo com os processos e equipamentos utilizados.

O serviço de enchimento de cerveja envolve uma série ordenada de processos que se inicia com a recepção da embalagem até a sua entrega aos operadores logísticos. O diagrama da figura 2.1 ilustra, globalmente, os diferentes processos envolvidos.

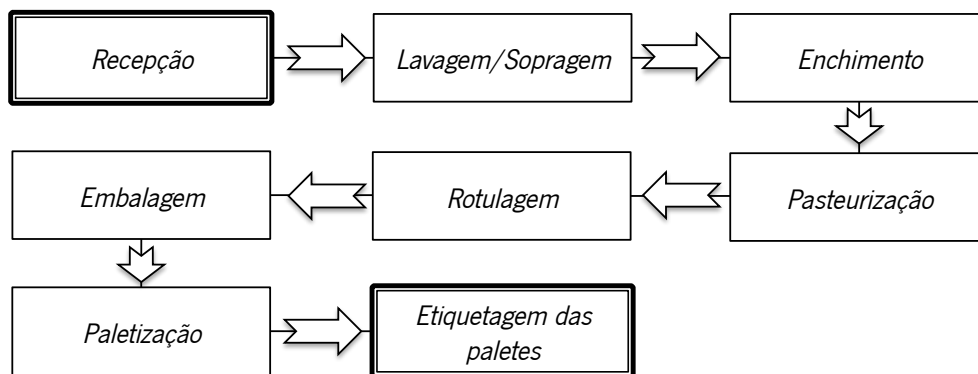


Figura 2.1 - Diagrama de processo do serviço de enchimento

O centro de produção da Unicer Bebidas, S.A. em Leça do Balio é constituído por três linhas de enchimento de cerveja em garrafas de vidro, identificadas pelos números 3, 5 e 6 e duas linhas para barris de tara retornável e perdida. As diferentes linhas podem ser classificadas pela sua capacidade nominal e/ou pelo tipo de linha de enchimento.

A linha 6, a linha 3 e as duas linhas de barris são denominadas linhas dedicadas. Esta designação deve-se a utilização de apenas um tipo de embalagem, podendo estas serem, de tara perdida (TP) no caso da linha 6 ou de tara retornável (TR) na linha 3. A linha 5 pode utilizar os dois tipos de vasilhame pelo que se designa como sendo uma linha mista.

A principal diferença destes dois tipos de vasilhame apresenta-se na fase inicial do processo. Para permitir a sua reutilização, as garrafas TR necessitam de passar por um processo de lavagem e secagem. Sendo sempre garrafas novas, as garrafas TP apenas



necessitam de ser sopradas para garantir a remoção de qualquer resíduo proveniente do fabrico ou transporte.

Uma outra diferença entre estes dois tipos de embalagens deve-se ao processo de recepção e remoção da linha. Enquanto que as todas as garrafas TP são despaletizadas de paletes provenientes dos fornecedores de vidro, uma grande percentagem das garrafas TR necessitam de serem removidas de grades e colocadas na linha. O mesmo se passa com a remoção das garrafas da linha, em que garrafas TR necessitam de ser recolocadas no interior de grades, enquanto que garrafas TP são embaladas. Assim sendo, estas particularidades forçam a que sejam necessários equipamentos diferentes para a realização destes dois processos.

### ***2.1. Linha de enchimento***

Sendo o caso de estudo centrado em garrafas de vidro de tara perdida, seleccionou-se a linha 6 como piloto para a realização deste trabalho. Com capacidade estimada para processar cerca de 30.000 garrafas por hora, a grande variedade de produtos realizados nesta linha conferem-lhe o estatuto de mais dinâmica entre as várias existentes no centro de produção de Leça do Balio.

A linha 6 permite processar quase todo o tipo de vasilhame TP fornecidos à empresa, devido as suas dimensões, a garrafa de 1 litro é a única excepção. Em termos de disposição, a linha encontra-se dividida em dois níveis, sendo que os equipamentos dispostos no primeiro são:

- Despaletizadora;
- Elevador;
- Paletizadora;
- Envolvedora;
- Etiquetadora.

No segundo nível, estão todos os restantes equipamentos constituintes da linha de enchimento, nomeadamente:

- Sopradora;
- Inspector de vazio;
- Enchedora;

- Pasteurizador;
- Rotuladora & Inspector;
- Embaladora;
- Encartonadora;
- Inspector magnético.

A disposição dos equipamentos na linha de enchimento está estrategicamente definida para a otimizar a funcionalidade e o espaço disponível. As figuras 2.2 e 2.3 ilustram os *layouts* dos níveis inferior e superior da linha 6, respectivamente.

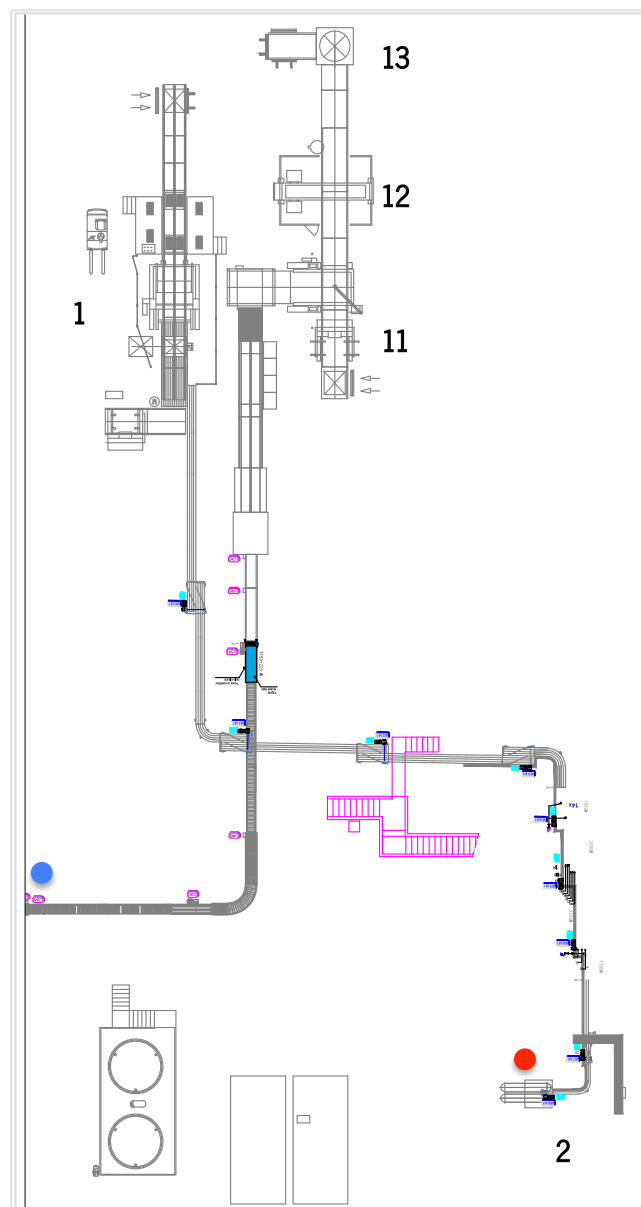


Figura 2.2 - *Layout* do nível inferior da linha 6. Legenda: 1 – Despaletizadora; 2 – Elevador; 11 – Paletizadora; 12 – Envolvedora; 13 – Etiquetadora. (Adaptado de [2])

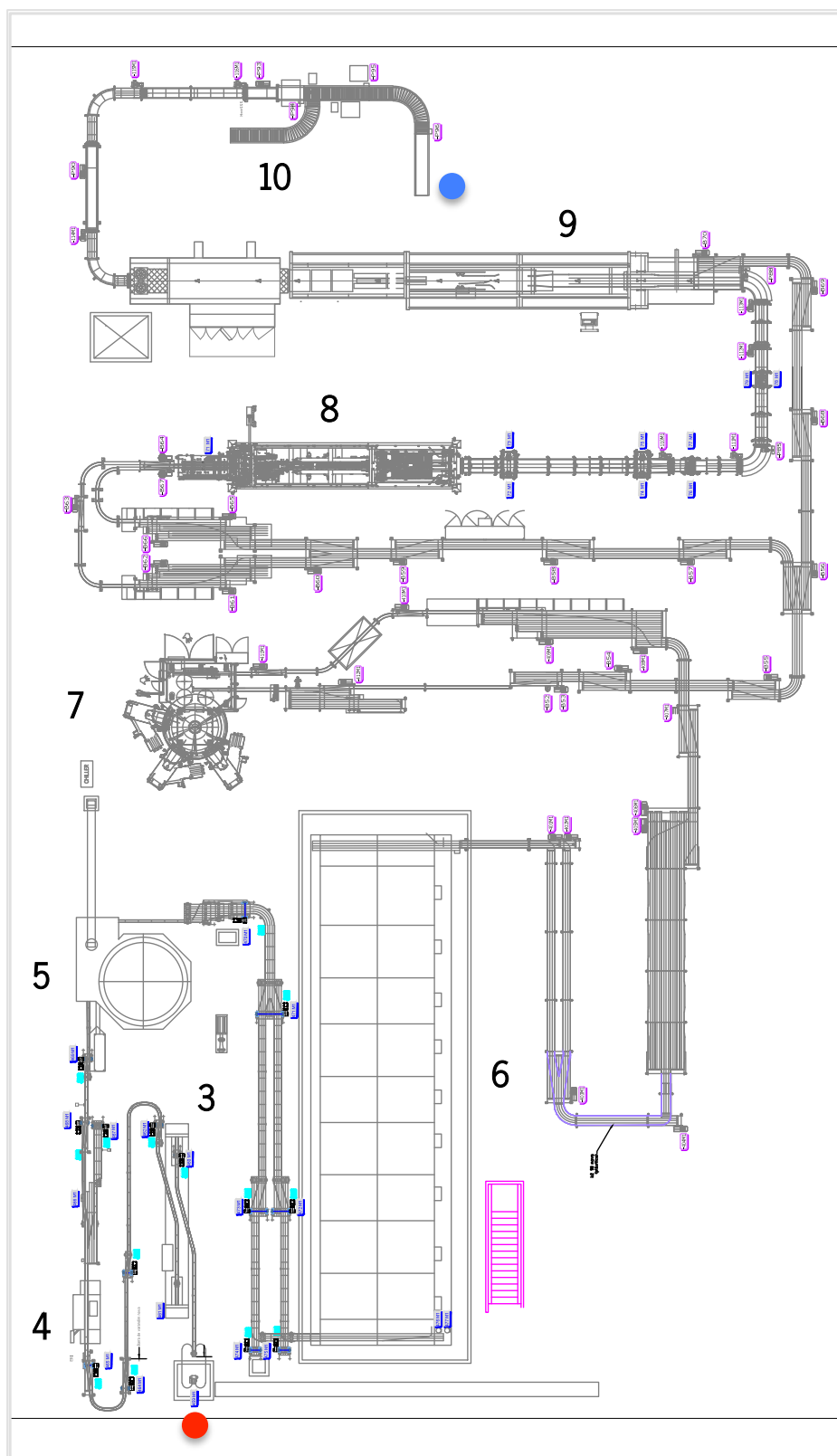


Figura 2.3 - *Layout* do nível superior da linha 6. Legenda: 3 – Sopradora; 4 – Inspector de vazio; 5 – Enchedora; 6 – Pasteurizador; 7 – Rotuladora; 8 – Embaladora; 9 – Encartonadora; 10 – Inspector magnético. (Adaptado de [2])

### 2.1.1. Princípio de funcionamento

Neste subcapítulo pretende explicar, de forma sucinta, o princípio de funcionamento de todos os processos da linha de enchimento.

A despaletizadora, ilustrada na figura 2.4, é o primeiro equipamento utilizado na linha de enchimento. Este equipamento permite transpor as garrafas novas das paletes provenientes do fornecedor para o transportador da linha de enchimento. Este processo, denominado por despaletização, pode ser dividido em quatro etapas consecutivas:

- 1ª Etapa – Remoção manual do filme retráctil que envolve a paleta;
- 2ª Etapa – Avanço semiautomático da paleta para a despaletizadora;
- 3ª Etapa – Arrasto automático de fiadas completas da paleta para o transportador;
- 4ª Etapa – Remoção do intercalar através de um sistemas de ventosas.

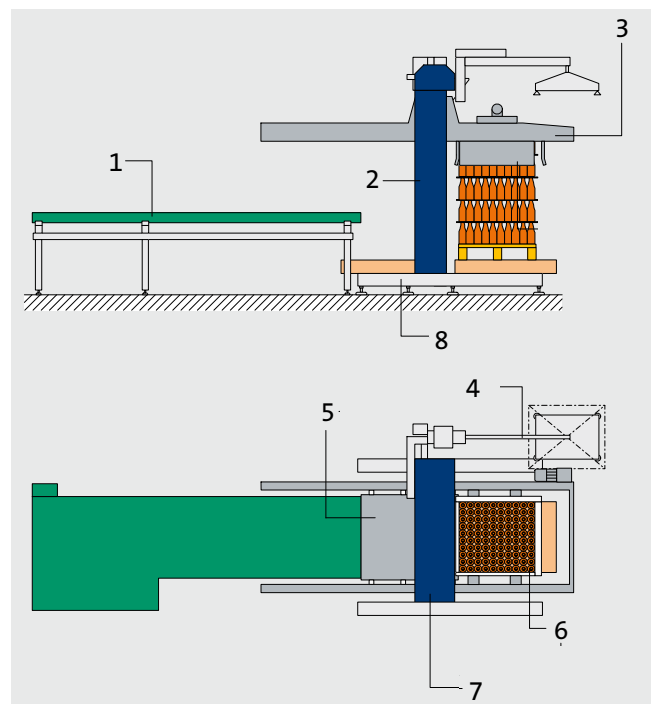


Figura 2.4 – Despaletizadora. Legenda: 1 – Transportador da linha; 2 – Estrutura; 3 – Dispositivo de centragem e empurro de fiadas; 4 – Dispositivo de ventosas para remoção de intercalares; 5 – Mesa intermédia; 6 – Carro de empurro com centrador; 7 – Mecanismos de elevação; 8 – Zona de acumulação de paletes. (Adaptado de [3])

Após terem sido despaletizadas, as garrafas seguem no transportador até atingir o elevador. Como ilustrado na figura 2.5, através do prévio alinhamento, o elevador permite transportar as garrafas para o nível superior da linha de enchimento.



**Figura 2.5 - Elevador de garrafas da linha 6**

Uma vez que apenas processa garrafas novas, a linha não detém equipamento de lavagem. No entanto, no processo de fabrico ou no transporte, a garrafa pode ser contaminada com poeiras ou outro tipo de resíduos. Consequentemente, antes de ser inspecionada e enchida, a garrafa é soprada pelo equipamento demonstrado na figura 2.6. Inicialmente utilizado como enxaguadora, este equipamento permite, ao longo de um movimento rotativo, soprar o interior da garrafa retirando todas as impurezas existentes.



**Figura 2.6 – Soprador de garrafas da linha 6**

O inspetor de vazio, ilustrado na figura 2.7, é um equipamento fundamental em termos de inspeção de qualidade das garrafas inseridas na linha. Utilizando câmaras de alta resolução, as garrafas são comparadas com padrões introduzidos na unidade de controlo do equipamento. Momentaneamente, através da comparação com as imagens recolhidas, este inspetor permite que sejam inspecionados o fundo, o bocal e a parede da garrafa. Não estando as garrafas em conformidade são rejeitadas através de um dispositivo de empurro na saída da máquina.



**Figura 2.7 - Inspetor de vazio da linha 6**

Adoptando a definição literal utilizada no meio de produção de bebidas, o termo de enchimento consiste na operação de envase de um líquido numa determinada embalagem. No entanto, apesar da aparente simplicidade do processo, os equipamentos de enchimento e capsulagem são dotados de um sistemas de funcionamento cada vez mais complexos para permitir atingir níveis de performances cada vez mais elevados.

Devido as inúmeras fases que o constituem, o processo de enchimento é extremamente complexo. Assim, através da figura 2.8, é possível compreender, de forma sumária, as etapas principais do processo de enchimento.

- Pressurização sobre os elementos de enchimento;
- Evacuação e contra-pressurização;
- Enchimento;
- Ajuste no nível de enchimento;
- Despressurização.

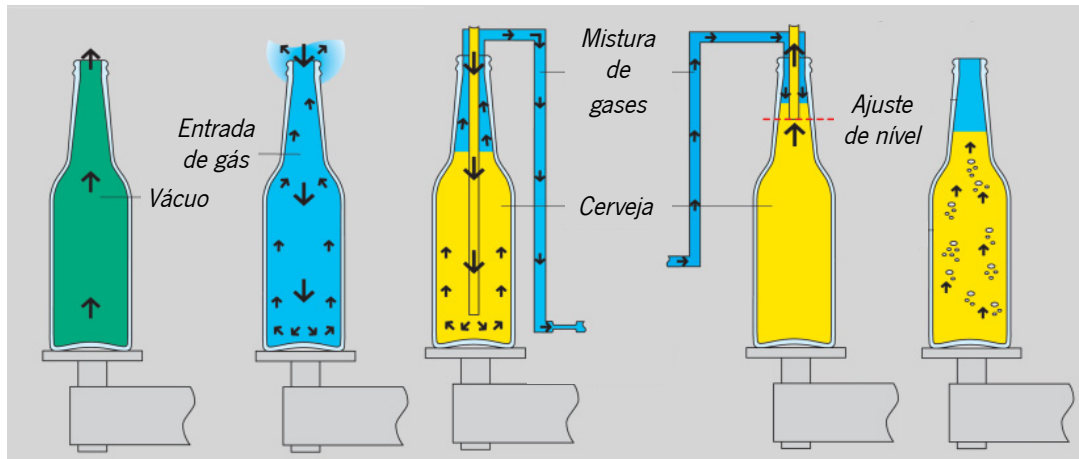


Figura 2.8 - Processo de enchimento de uma garrafa de cerveja (Adaptado de [4])

A etapa de enchimento consiste na transferência de cerveja das cuvas de armazenamento para as garrafas o interior das garrafas na enchedora. Existem várias técnicas para esse procedimento, no entanto, a característica que permite distinguir o tipo de enchedora provêm do método que determina a quantidade de cerveja distribuída em cada garrafa. A enchedora da linha 6 utiliza o sistema mais convencional de enchimento por nível. Resumidamente, como demonstra a figura 2.9, a altura de nível é determinada pela altura da cânula que entra na garrafa durante o seu enchimento.

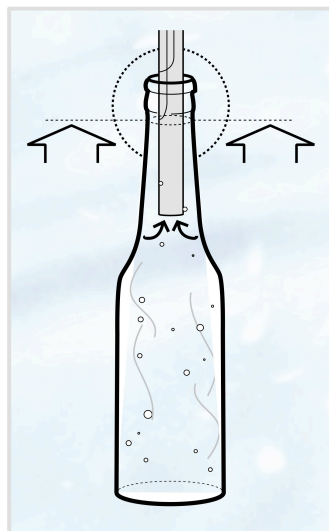


Figura 2.9 - Representação do sistema de enchimento por nível (reproduzido de [5])

O enchimento e capsulagem são operações que devem estar directamente associadas. Devido ao grau de importância em manter o mínimo de tempo possível a cerveja em contacto com oxigénio, o sistema de engrenagens que promove o transporte na enchedora conduz as

garrafas para o capsulador num curto espaço de tempo. Como ilustra a figura 2.10, o processo de capsulagem é realizado em quatro fases distintas. Neste processo, uma mola exerce uma determinada força na cápsula contra a superfície de vedação da garrafa. Com a descida do êmbolo, a força aumenta progressivamente sendo concluído o processo quando forem atingidos os 7,7mm. Então, o êmbolo retoma a posição inicial.

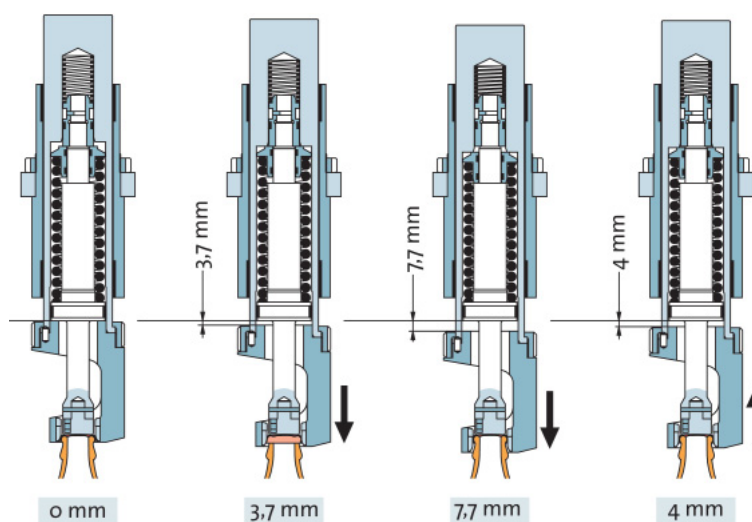


Figura 2.10 - Processo de capsulagem (reproduzido de [4])

Após ter sido engarrafada, segue-se o processo de pasteurização. A pasteurização é um processo que tem como função a estabilização microbiológica da cerveja engarrafada. A eficácia da pasteurização depende não só da extensão da temperatura aplicada como também no tempo durante o qual se aplica a mesma. Sendo assim, uma combinação do tempo e da temperatura da garrafa no interior do pasteurizador, determinam as unidades de pasteurização a que a cerveja esteve sujeita.

Existem vários tipos técnicas para pasteurizar cerveja. A linha de enchimento 6 utiliza a técnica de pasteurização em túnel, como ilustra a figura 2.11. O princípio de funcionamento consiste na utilização de jactos de vapor para o aquecimento de água, que em forma de chuveiro, permite o aumento gradual da temperatura do conteúdo das garrafas ao longo de várias secções no interior do pasteurizador. Após atingir a temperatura de pasteurização, as garrafas permanecem um determinado período de tempo até atingir as unidades de pasteurização requeridas para o produto. O tempo necessário varia consoante a capacidade nominal da garrafa. Posteriormente, as garrafas são arrefecidas gradualmente até uma temperatura de cerca de 28°C, onde se termina o processo de pasteurização.





**Figura 2.11 – Pasteurizador da linha 6**

Estando todo o processo de enchimento e estabilização da cerveja concluído, é necessário inspecionar, rotular e embalar as garrafas cheias. Assim, a semelhança da enchedora, a rotuladora é uma máquina de rotação que permite colocar rótulo, contra-rótulo e gargantilha nas garrafas.



**Figura 2.12 – Rotuladora da linha 6**

Associada a rotuladora, representada na figura 2.12, estão os equipamentos para inspeção de nível, de detecção de cápsula e de rotulagem.

Como ilustra a figura 2.13, a inspeção de nível processa-se através da leitura de um feixe laser, que permite determinar se a altura de enchimento está conforme o estipulado para a garrafa. Apesar de que no inspetor da linha 6 apenas se inspecionar se a garrafa detêm o nível mínimo de cerveja, realça-se a importância em inspecionar o nível máximo. Esta propriedade

permite verificar se a percentagem de vazio se encontra dentro dos valores recomendados pelo fornecedor de garrafas e se não existem problemas de enchimento excessivo por parte da enchedora.

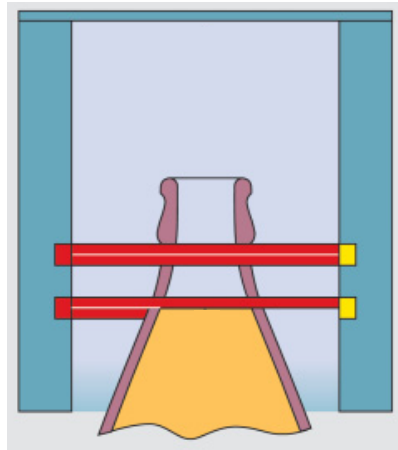


Figura 2.13 - Inspeção de nível (Adaptado de [4])

Havendo a possibilidade de ocorrerem falhas durante o processo de capsulagem ou por forças exercidas pela pressão interna gerada durante a pasteurização, a garrafa pode chegar a rotuladora sem cápsula. Consequentemente, um inspetor magnético detecta a presença das cápsulas, dando ordens para não rotular e rejeitar a garrafa assim que esta sair da máquina. A rejeição de garrafa é efectuada por um mecanismo de empurro, redireccionando-as para uma zona de acumulação na saída da máquina. A semelhança dos defeitos de nível e cápsula, esta zona de rejeição também acolhe as garrafas que tiverem sido correctamente rotuladas.

Após estarem rotuladas, as garrafas podem seguir duas diferentes direcções consoante o tipo de embalagem para o produto. Caso a embalagem consista num conjunto, ou *Pack*, que podem ser de 4, 6 ou 10 garrafas, é utilizada a embaladora ilustrada na figura 2.14. Se a garrafa for embalada directamente em caixa segue para a encartonadora, representada na figura 2.14. O princípio de funcionamento é semelhante para as duas máquinas, uma vez que, em ambas, as garrafas são alinhadas e envolvidas pela embalagem que posteriormente é fechada. As duas máquinas podem ser utilizadas em conjunto para a formação de alguns tipos de embalagens, nomeadamente aquelas que são constituídas por vários *Packs* dentro de uma caixa.

*Embaladora*



*Encartonadora*



**Figura 2.14 - Embaladora e encartonadora da linha 6**

Como demonstra a figura 2.15, anexado a encartonadora, encontra-se um forno. A utilização deste prende-se com a função de recontrilizar um filme plástico utilizado para permitir a formação de um conjunto de 4 *Packs* sem necessitar de uma caixa.



**Figura 2.15 - Forno da linha 6**

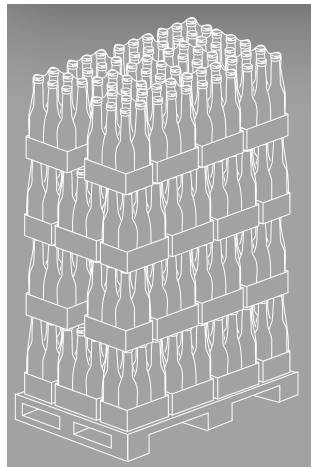
O inspector magnético, ilustrado na figura 2.16, é o ultimo equipamento de inspecção da linha de enchimento. Através de um dispositivo de detecção magnética das cápsulas, este equipamento permite garantir a conformidade de todas embalagens de produto acabado. Caso o equipamento detecte a ausência de uma ou mais cápsulas, a embalagem é rejeitada para uma zona de acumulação.





**Figura 2.16 - Inspector magnético da linha 6**

O processo de paletização é o último na linha de enchimento. Este consiste em empilhar sucessivas fiadas de embalagens em paletes, geralmente em madeira, para permitir deslocar uma quantidade significativa de produto sem necessariamente ter de exercer uma pressão excessiva nestes, como ilustra a figura 2.17.



**Figura 2.17 - Representação da paletes de produto acabado (adaptado de [5])**

Na linha 6, a paletizadora pode ser considerada convencional devido ao seu método de funcionamento. Amplamente utilizado em linhas de enchimento de todo o mundo, este método consiste na entrada das embalagens a 90° em relação ao sentido de translação da fiada, como ilustra a figura 2.18. Uma outra particularidade desta máquina prende-se com o facto das embalagens serem introduzidas ao mesmo nível a que se encontra o operador, permitindo boas condições de acessibilidade e acompanhamento do processo.

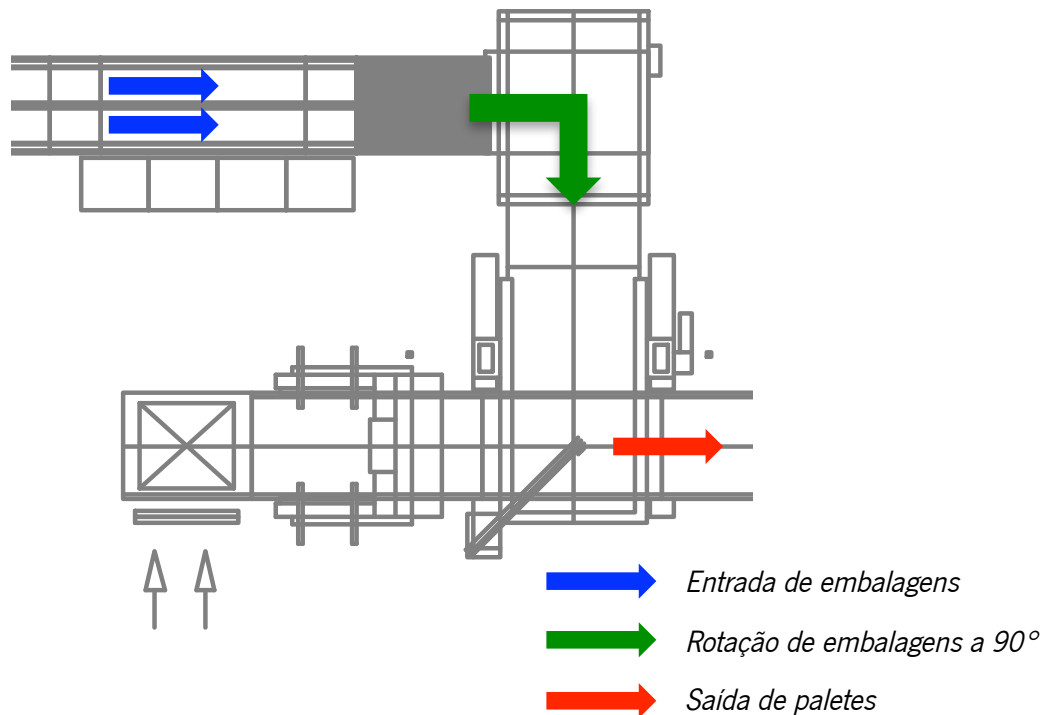


Figura 2.18 - Esquema representativo da paletizadora da linha 6 (adaptado de [2])

A paletização é um processo que prevê uma série de fases, todas indispensáveis, para obter uma paleta na qual as embalagens estão especificamente dispostas pelas várias fiadas:

- Doseamento de embalagens;
- Orientação de embalagens;
- Formação da fiada;
- Compressão e deposição da fiada.

O fase de doseamento consiste em contar e dividir pelos dois tapetes paralelos de acesso a paletizadora as embalagens necessárias para a formação da fiada. Simultaneamente ao processo de divisão pelos dois tapetes, procede-se a orientação, ou rotação, das embalagens. A orientação de embalagens permite a disposição estratégica destas na fiada. Internamente denominada por matriz de paletização, esta disposição é específica para cada tipo de produto e tem como objectivo garantir a estabilidade da paleta e otimizar a quantidade de embalagens em cada fiada. Como representado na figura 2.19, o método utilizado para orientar as embalagens consiste na actuação de um batente fixo, que quando accionado promove a rotação no sentido pretendido para alocação na fiada.



**Figura 2.19 - Batente para orientação das embalagens**

Estando as embalagens correctamente orientadas conforme a matriz de paletização do produto, dá-se a fase de formação das fiadas. Como já referido, na paletizadora da linha 6, esta operação realiza-se perpendicularmente a direcção do movimento de empurro das fiadas para a deposição na paleta. Através de impactos na parede frontal e em separadores dispostos entre os rolos que constituem a mesa de entrada, as embalagens são introduzidas conforme a matriz de paletização, formando a fiada. Para concluir a fase de formação, é necessário um primeiro movimento de empurro das embalagens, para que possam ser as restantes necessárias para completar a fiada. A título de exemplo, retratam-se na figura 2.20, as várias fases da etapa de formação da fiada na paletizadora da linha 6.

Após completar a fase de formação, as fiadas são comprimidas e depositadas na paleta. Posteriormente á centragem automática das fiadas através dos centradores da paletizadora, a deposição efectua-se através do bloqueio da fiada e de um posterior movimento contrário da mesa promovendo o arrasto para a paleta.

Uma vez constituída, a paleta é envolvida por um filme plástico que têm por objetivo a estabilização das fiadas e um, consequente, aumento da facilidade e segurança no seu transporte. Neste processo, realizado pela envolvedora, apenas a reposição dos rolos de plástico é realizada pelo operador, sendo todo o processo de envolvimento é assegurado pela máquina através de um movimento rotativo em torno da paleta.

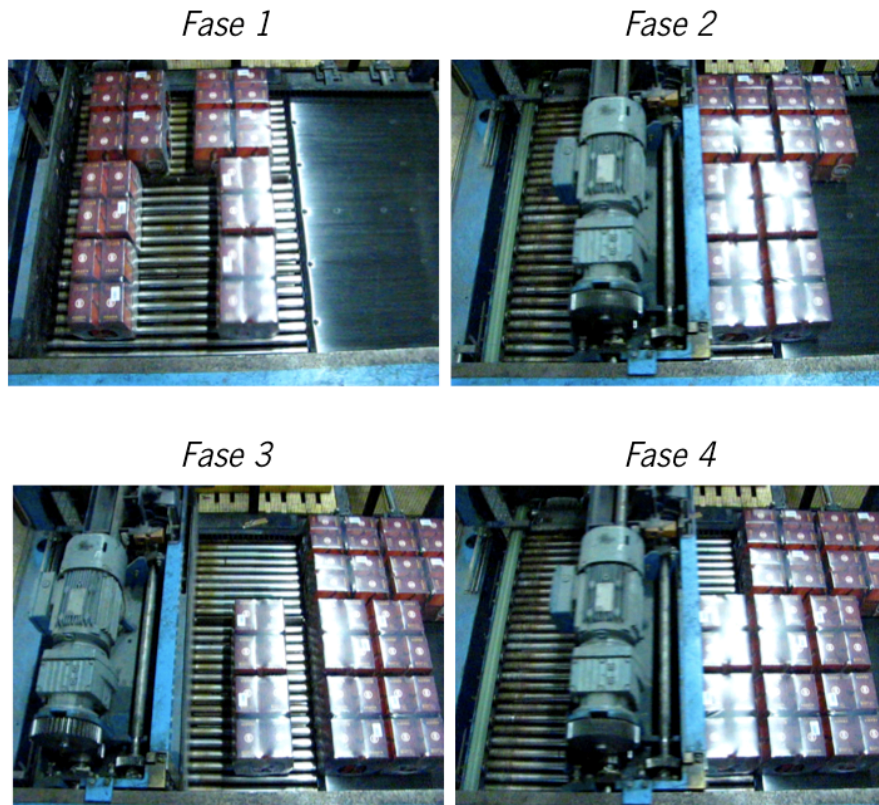


Figura 2.20 - Fases de formação da fiada na paletizadora

Por fim, após automaticamente terem sido etiquetadas, as paletes seguem para o armazém através do recurso a empilhadores.

## 2.2. Garrafas de vidro

O vidro é um produto inorgânico, rígido, homogéneo e inerte que resulta da fusão a alta temperatura de matérias-primas, essencialmente naturais, como areia, calcário e soda. Através da sua composição e estrutura, o vidro apresenta elevado grau de estabilidade e de inércia química, permitindo elevada capacidade de resistência às condições atmosféricas e ao ataque de agentes químicos.

Não tendo forma definida, o vidro pode adquirir as mais variadas formas através da sua moldação. Associada a capacidade de moldação, as características de rigidez (após moldação), resistência, inércia química e impermeabilidade são as principais vantagens da utilização deste material para a criação de embalagens para acondicionamento de produtos alimentares, tais como garrafas para enchimento de cerveja.

Segundo a Associação Portuguesa dos Produtores de Cerveja, APCV, as principais embalagens utilizada para o enchimento de cerveja em Portugal são garrafas de vidro de tara perdida e retornável. A tabela 2.1 demonstra as percentagens de produção de cerveja por cada tipo de embalagem.

**Tabela 2.1 - Produção de cerveja por embalagem em 2010 (reproduzido de [6])**

Embalagem	Produção de cerveja por embalagem (%)
Garrafa de vidro TP	50,0%
Garrafa de vidro TR	29,0%
Barril	14,1%
Lata	4,8%
PET	0%
Outros	1,8%

### ***2.2.1. Projecto para o fabrico***

O projecto para o fabrico de uma embalagem de vidro divide-se em três etapas principais:

- Design criativo;
- Projecto técnico;
- Projecto de moldes.

#### **Design criativo**

Nesta fase inicial, as equipas do projecto de produto das empresas vidreiras trabalham em conjunto com os departamentos criativos dos seus clientes para avaliar a exequibilidade das ideias propostas para uma nova embalagem. A participação de ambas as partes é fundamental, pois associado aos processos de fabrico das novas embalagens encontram-se os requisitos desta para o sua manipulação e processamento nas linhas de enchimento.

#### **Projecto técnico**

O projecto técnico do produto socorre-se das informações do design criativo. A embalagem é desenhada, por forma a cumprir com os parâmetros dimensionais pretendidos, e,



desde o início, adequada ao projecto de moldes e às embalagens secundárias. Através do recurso a ferramentas de simulação computacional, é possível, entre outros, simular a distribuição do vidro, a capacidade, resistência à pressão interna, a resistência e estabilidade onde se inclui a definição do centro de gravidade. Ainda nesta fase inicial, é verificada a conformidade dos parâmetros normalizados como a resistência a pressão interna e a carga axial [7].

### **Projecto de moldes**

Estando aprovado o projecto técnico do artigo, procede-se à fase seguinte, ou seja, a realização do projecto de moldes. Os moldes são desenvolvidos de acordo com o processo de moldação mais adequado face ao tamanho da série de produção. Sendo que, nesta fase é fundamental ter em atenção que quanto maior a série de produção menor será a liberdade de design da embalagem e mais importante a definição do processo de moldação definido para o fabrico desta.

#### ***2.2.2. Processo produtivo***

O processo produtivo na indústria do vidro de embalagem inicia com a chegada das matérias-primas e termina no processo de paletização. Como ilustrado na figura 2.21, o processo produtivo de uma unidade fabril de embalagens de vidro pode ser dividido em quatro macroprocessos:

1. Processo de fundição do vidro;
  - a. Composição
  - b. Fusão
2. Processo de fabrico da embalagem;
  - a. Moldação
  - b. Tratamentos de superfície a quente
  - c. Recozimento
  - d. Tratamento de superfície a frio
3. Processo de controlo da qualidade;
4. Processo de paletização.

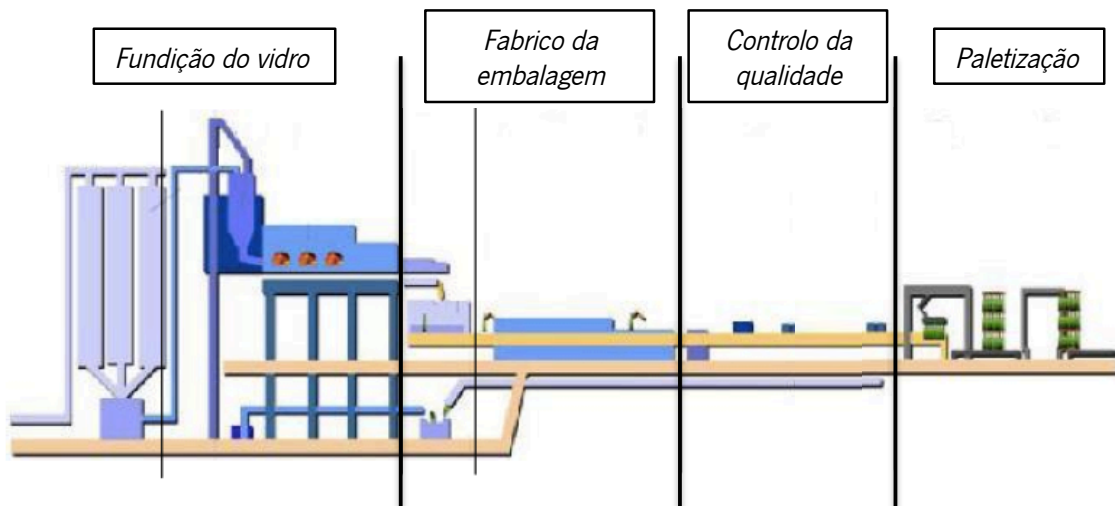


Figura 2.21 - Processo produtivo de uma unidade fabril de embalagens de vidro (adaptado de [7])

### Composição

Quando recepcionadas, as matérias-primas são inspeccionadas e armazenadas em silos para a conservação das suas características fundamentais. Por sua vez, os silos alimentam balanças cuja função é dosear as várias matérias-primas de forma a obter as diversas receitas para diferentes tipos de vidro. A tabela 2.2 mostra os principais constituintes, em percentagem, de uma embalagem de vidro.

Tabela 2.2 - Composição típica de um vidro sódico cálcico (reproduzido de [7])

Óxido	%
$\text{SiO}_2$	73 a 74
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	12 a 13
$\text{CaO} + \text{Mg}$	10 a 11
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1 a 2
$\text{MgO}$	> 1

### Fusão

Funcionando em contínuo durante os 365 dias do ano e com uma vida útil de cerca de 12 anos, os fornos regenerativos, representados na figura 2.22, são o cerne do processo de fusão. Constituídos por materiais refractários capazes de suportar as elevadas temperaturas, este tipo de fornos permite reaproveitar o ar quente que geram, sendo o gás natural utilizado como principal combustível.

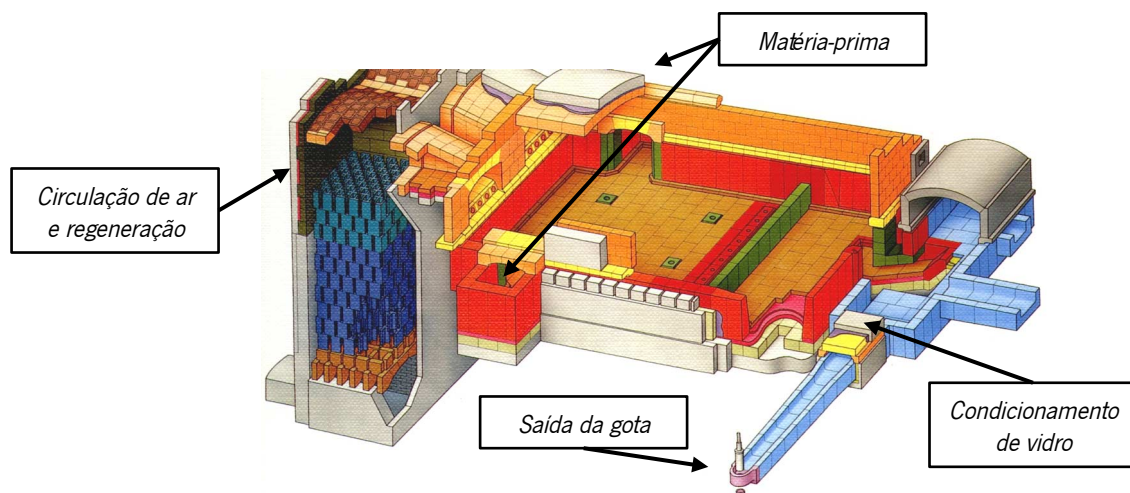


Figura 2.22 - Forno regenerativo para fusão de vidro (adaptado de [8])

Entrando no forno através da boca de enfora, a composição, devidamente doseada, atravessa a “zona de fusão” onde toda a massa é fundida, a uma temperatura na ordem dos 1550°C, homogeneizada e afinada. A fase final desta etapa processa-se através da saída, em modo contínuo, do fundido em forma de fio, para que posteriormente seja dividido em porções de peso controladas denominadas por gotas.

### Moldação

A etapa de moldação é considerada a mais importante de todo o processo, uma vez que é nessa que o vidro ganha a forma da embalagem final. Após a formação das gotas, estas são direcionadas para as diversas secções da máquina para a sua moldação. Este processo consiste na deposição das gotas num primeiro molde, denominado por molde de principiar, onde estas recebem uma pré-forma da embalagem final. Posteriormente, esta pré-forma é colocada no molde final onde é conferida a forma final da embalagem. Apesar destes dois passos sucessivos estarem sempre associados, o processo de moldação pode variar consoante o tipo de tecnologia utilizado. Assim, é possível distinguir dois diferentes tipos de tecnologia sendo uma delas dividida em dois processos distintos devido as limitações da versão original:

- Soprado-Soprado ou *Blow-Blow*, figura 2.23;
- Prensado-Soprado ou *Press-Blow*, figura 2.24;
- *Narrow Neck Press-Blow* ou *NNPB*, figura 2.25.

No processo Soprado-Soprado, a pré-forma é obtida através de um sopro no molde de principiar. À semelhança desta primeira fase, após sofrer um processo de inversão e colocação no molde final, é por sopro que o vidro estende-se e ganha a forma final da embalagem. Como se pode verificar através da figura 2.23, neste processo a acção exercida no vidro é exclusivamente pneumática.

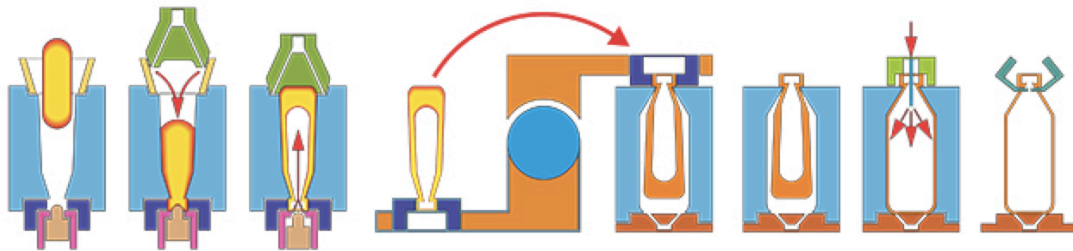


Figura 2.23 - Processo de moldação Soprado-Soprado (reproduzido de [9])

No processo Prensado-Soprado, contrariamente ao Soprado-Soprado, a pré-forma é obtida através da acção de um punção metálico. Este empurra o vidro contra o contra-molde conferido-lhe a pré-forma. Já a segunda parte do processo é semelhante ao processo anterior, onde a forma final resulta da acção de um sopro contra as paredes do molde.

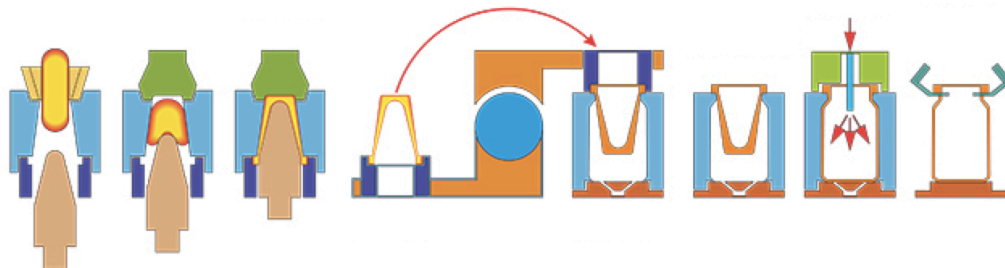


Figura 2.24 - Processo de moldação Prensado-Soprado (reproduzido de [9])

O processo *Narrow Neck Press-Blow* é, na sua essência, semelhante ao processo Prensado-Soprado. No entanto, contrariamente ao seu semelhante que está constrangido com a capacidade de gerar embalagens com um diâmetro do gargalo dentro de um intervalo de 38mm a 120mm, o *NNPB* permite que sejam gerados diâmetros inferiores a 38mm.

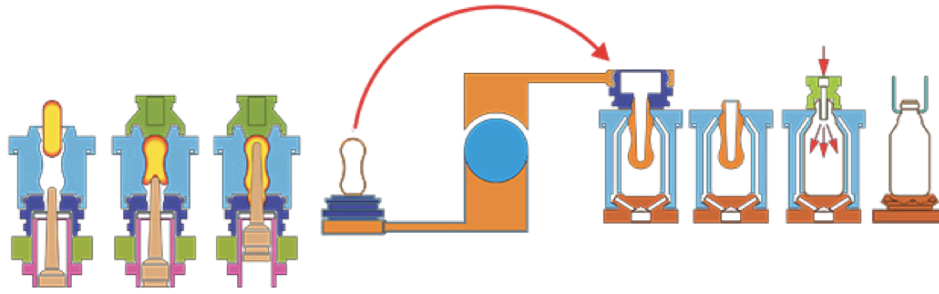


Figura 2.25 - Processo de moldação *NNPB* (reproduzido de [9])

### Tratamento de superfície a quente

O tratamento de superfície a quente é aplicado nas garrafas antes da sua entrada na arca de recozimento. Estando a uma temperatura entre os 500°C e 700°C, as garrafas entram numa câmara onde são vaporizadas com sais metálicos de cloreto de estanho ou titânio. Conferindo-lhes uma camada protectora à superfície do vidro, este tratamento permite aumentar a resistência da garrafa ao impacto e reduzir o atrito entre as superfícies de contacto durante a sua utilização.

### Recozimento

As garrafas seguem depois para as arcas de recozimento. Este tratamento tem como objectivo aliviar tensões internas, resultantes do arrefecimento do vidro após a sua moldação. O processo de recozimento consiste em tornar a aquecer a garrafa e proceder a um arrefecimento gradual, equilibrando as tensões internas e, consequentemente, tornar a embalagem mais resistente. As arcas de recozimento utilizam gás natural e atingem temperaturas máximas na ordem dos 550°C.

### Tratamento de superfície a frio

O tratamento de superfície a frio é o ultimo tratamento realizado nas garrafas. Efectuado logo após a saída das garrafas da arca de recozimento, a superfície do vidro é revestida com polietileno que permite aumentar a resistência das garrafas ao risco durante o seu processamento nas linhas. Como ilustrado a figura 2.26, a aplicação do revestimento é efectuada através da técnica de pulverização, onde as garrafas se encontram entre os 100°C e os 200°C. A protecção aferida por este tratamento diminui através de sucessivos impactos de

elevada intensidade e nas fases do processo de enchimento em que a garrafa esteja em contacto com água, como por exemplo a pasteurização [10].



Figura 2.26 - Tratamento de superfície a frio (reproduzido de [11])

### **Controlo da qualidade**

Na linha de produção, é realizada uma inspecção contínua da totalidade das garrafas produzidas. Utilizando máquinas de inspecção automática, garante-se a verificação da conformidade de todas as garrafa com as especificações requeridas.

### **Paletização**

Depois de submetidas ao controlo de qualidade, as garrafas seguem para a paletizadora para formação das respectivas paletes. Para facilitar e proteger as garrafas de possíveis contaminações durante o seu transporte, as paletes são recobertas com um plástico que, posteriormente, é retratilizado.

### ***2.2.3. Especificações técnicas***

As especificações técnicas de uma embalagem de vidro são definidas através das suas características dimensionais, físicas e visuais. Estas permitem avaliar a conformidade das embalagens baseando-se na normalização existente e nos requisitos estabelecidos durante a fase de projecto.

### 2.2.3.1. Definições

É importante sob todos os aspectos que produtor e cliente usem terminologias comuns no que respeita ao vidro de embalagem. Assim, a norma NP3548 [12] define o vocabulário normalizado para as garrafas de vidro, nomeadamente, vocabulário referente a características técnicas, especificações e defeitos. A figura 2.27 ilustra a nomenclatura utilizada para garrafas de vidro.

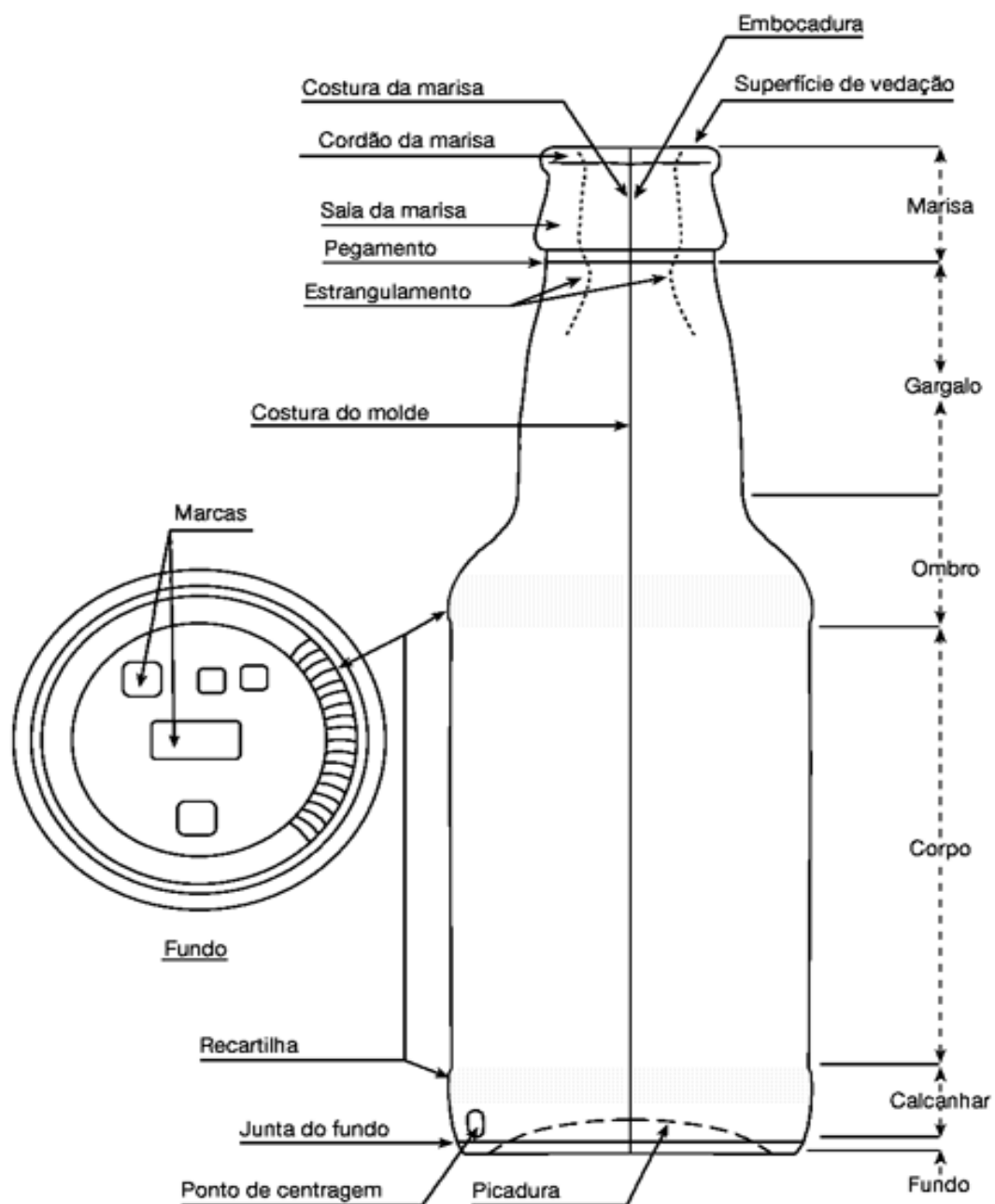


Figura 2.27 - Nomenclatura utilizada para garrafas de vidro (reproduzido de [12])

### **2.2.3.2.    *Características dimensionais***

As características dimensionais consistem nas dimensões pré-estabelecidas, através de normas e requisitos do cliente, para a embalagem. De acordo com a norma NP3315 [13], existem especificações funcionais para garantir a conformidade da embalagem de vidro, nomeadamente:

- Altura – Distância medida entre o plano de assentamento da embalagem e o plano rasante ao topo da marisa;
- Horizontalidade da marisa – Distância entre os planos paralelos ao plano de assentamento da embalagem, rasantes ao ponto mais alto e mais baixo do bordo superior da marisa;
- Verticalidade – Desvio medido horizontalmente, à cota do bordo superior da marisa, entre os eixos real e teórico, definidos pela recta que passa pelo centro da base da embalagem e pelo centro da marisa;
- Diâmetro – Cota tomada perpendicularmente ao eixo da embalagem, entre pontos opostos;
- Espessura e distribuição de vidro;
- Peso – Massa de vidro da embalagem;
- Volume disponível – Diferença entre a capacidade total da embalagem e o volume ocupado pelo dispositivo de fecho.

### **2.2.3.3.    *Propriedades mecânicas***

A conformidade do desempenho de uma embalagem de vidro numa linha de enchimento depende, essencialmente, das suas propriedades mecânicas.

A norma NP3552 [14] define as qualidades particulares de resistência que as embalagens de vidro devem apresentar, podendo evidenciar-se duas propriedades mecânicas normalizadas:

- Resistência à pressão interna;
- Resistência à carga axial.



A resistência à pressão interna é uma propriedade fundamental para embalagens de vidro numa linha de enchimento de produtos gaseificados, tal como a cerveja. Devido aos processos de enchimento e pasteurização, uma pressão interna é induzida na garrafa, sendo, por isso, necessário garantir a resistência desta sem fissurar. Assim, a norma NP3550 [15] define o método de ensaio para a determinação da resistência de uma embalagem de vidro à pressão interna. Neste ensaio, o equipamento, representado na figura 2.28, produz uma pressão hidrostática crescente no interior da garrafa até um valor máximo estipulado ou até ao rebentamento. Segundo a norma NP3552 [14], as embalagens destinadas ao enchimento de cerveja, na qual a quantidade de  $\text{CO}_2$  varia entre 2 a 6 g/l, não devem rebentar ou apresentar danos visíveis às pressões mínimas de 10 e 11 bar para garrafas de tara perdida e retornável, respectivamente.



**Figura 2.28 - Equipamento de medição de pressão interna (reproduzido de [16])**

A resistência à carga axial é uma propriedade que varia consoante o formato do gargalo. A importância de controlar esta propriedade deve-se às elevadas forças aplicadas durante o processo de capsulagem. A realização dos ensaios para determinar a resistência à carga axial de uma embalagem de vidro está definida pela norma NP3551 [17]. Segundo esta, aplica-se uma carga axial crescente até à ruptura ou até ser atingido um nível de carga pré-selecionado. Já a norma NP3552 [14] define que as cargas axiais mínimas que uma embalagem de vidro sujeita a encapsulamento em linha de enchimento devem ser de 4500 e 5000N para garrafas de tara perdida e tara retornável, respectivamente.

Apesar de não existir nenhuma norma específica para determinar a resistência ao impacto, esta é uma propriedade fundamental para o desempenho de uma embalagem na linha de enchimento. O método mais comum utilizado pelas indústrias vidreiras para determinar a

resistência ao impacto das garrafas consiste na aplicação do ensaio de Charpy, representado na figura 2.29.



**Figura 2.29: Equipamento de medição da resistência ao impacto (reproduzido de [16])**

Neste ensaio, as garrafas são sujeitas ao impacto de um pêndulo. O pêndulo, em repouso, a uma determinada altura, possui uma energia potencial que, quando liberto, realiza trabalho pela força da gravidade. Este trabalho é absorvido pela embalagem sob a forma de impacto. O método de ensaio baseia-se no aumento progressivo da velocidade de impacto até que ocorra o rebentamento da garrafa retirando então a capacidade dessa a resistir ao choque [18] .

#### **2.2.3.4. *Propriedades térmicas***

O processo de enchimento de cerveja obriga a embalagem a sofrer um ligeiro choque térmico aquando a sua entrada no pasteurizador. Assim sendo, é necessário controlar a capacidade de uma embalagem resistir às variações de temperatura sem originar fissuras ou rebentamentos.

De acordo com o ensaio definido pela norma NP3314 [19], as garrafa são imergidas num tanque de água quente durante 5 minutos e transferidas para outro com água fria durante 30 segundos. Segundo a norma NP3552 [14], as garrafas não devem quebrar nem apresentar danos visíveis aquando uma variação mínima de 40°C entre o banho quente e o banho frio.

### 2.2.3.5. Características visuais

As características visuais da embalagem podem ser divididas em dois grupos:

- Requisitos;
- Defeitos.

A cor de uma embalagem de vidro é um requisito fundamental para o processo de conservação da qualidade do produto a ser acondicionado. Assim sendo, as especificações e tolerâncias devem estar de acordo com as características ópticas da cor, nomeadamente, o comprimento de onda, a pureza e o brilho.

Os defeitos do vidro podem ser classificados quanto à sua natureza e funcionalidade. Definida pela norma NP3548 (12), a classificação de defeitos pode ser realizada segundo o diagrama da figura 2.30.

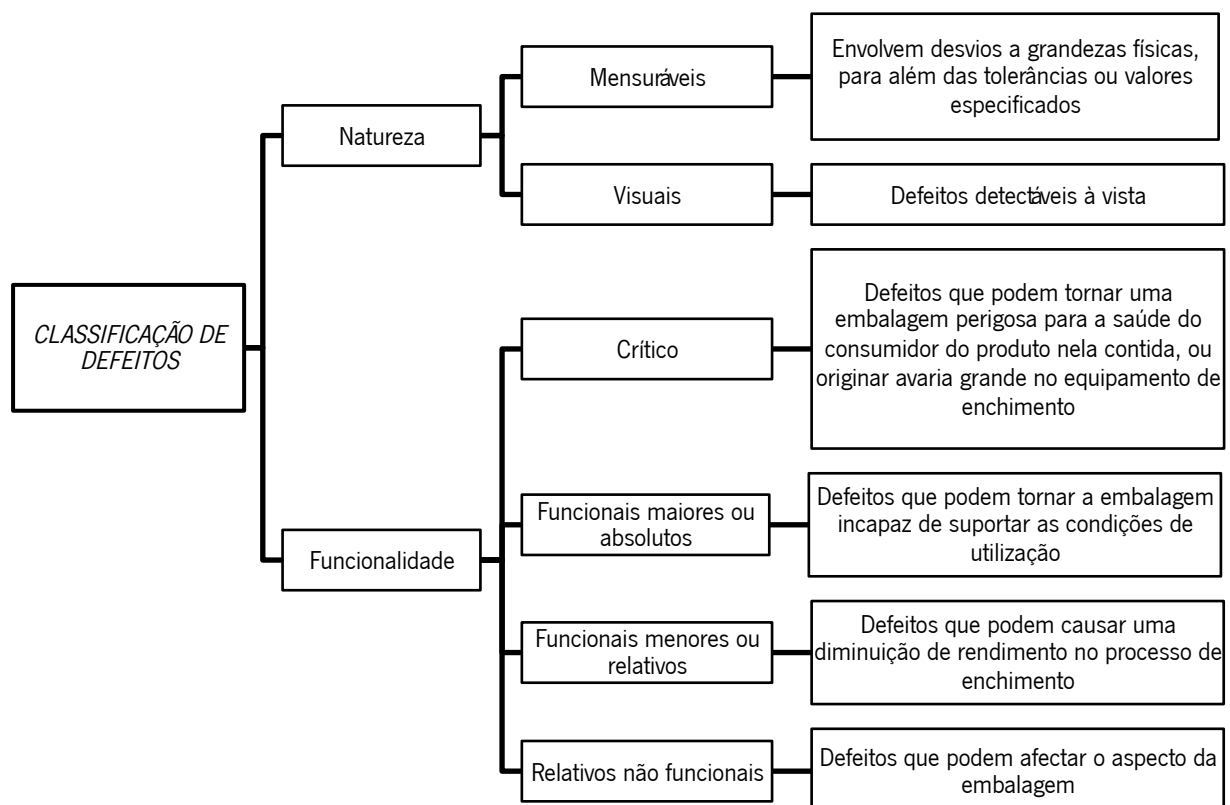


Figura 2.30 - Classificação de defeitos de vidro (adaptado de [12])

### **3. *Análise fractográfica de garrafas de vidro***

Segundo a norma ASTM C1256 [20], que identifica os padrões nas superfícies de fractura, a análise fractográfica consiste na base do conhecimento para a avaliação da causa de ruptura de garrafas de vidro. A aplicação destes conhecimentos permite identificar, de forma concisa, a origem da fractura e a natureza da carga que a originou.

A recolha dos fragmentos resultantes da fractura de uma garrafa permitem, após a sua reconstituição original, caracterizar as causas de ruptura. A importância da análise fractográfica reflete-se na utilização dos princípios teóricos associados a garrafas de vidro para determinar a causa da fractura e permitir uma acção específica no problema identificado.

#### **3.1. *Cargas e tensões em garrafas de vidro***

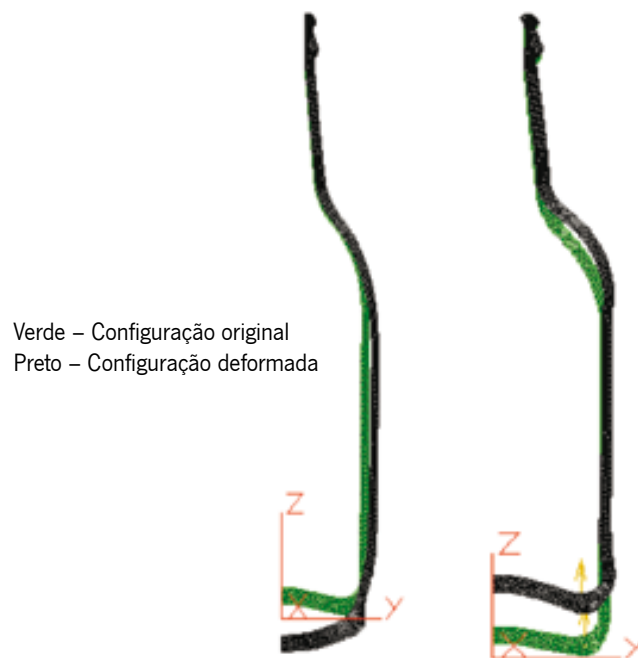
No seu processo de fabrico e utilização, as garrafas de vidro estão sujeitas a várias cargas com diferentes níveis de intensidade. Tipicamente, as principais cargas a que uma garrafa de vidro está sujeita durante a sua utilização podem ser de:

- Pressão interna;
- Impactos;
- Choque térmico;
- Cargas verticais;
- Esmagamentos.

Através de cada carga resulta uma deformação específica, que consoante a sua intensidade, provoca tensões no vidro. Smay e Davis [21] define que a intensidade dessas tensões é directamente afectada por vários factores, nomeadamente:

- Tipo de carga;
- Magnitude da carga;
- Espessura e distribuição de vidro;
- Design da garrafa;
- Cargas combinadas;
- Tensões permanentes.

A figura 3.1 demonstra o resultado das deformações de duas garrafas após solicitação a pressão interna.

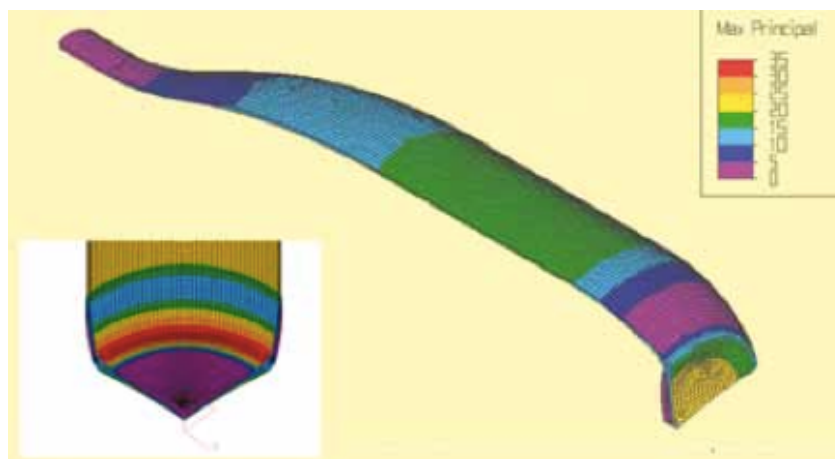


**Figura 3.1 - Deformações causadas por cargas de pressão interna (adaptado de [21])**

A distribuição das tensões na garrafa cria padrões ou sistemas de tensões característicos para cada tipo de carga [22]. Podem dividir-se estes sistemas de tensões em três tipos:

- Sistemas de tensão uniforme – Consistem no mesmo tipo de tensões, tracção ou compressão, em toda a espessura de vidro da garrafa;
- Sistemas de tensão de flexão – Consistem numa tensão de tracção numa das superfícies da garrafa e uma tensão de compressão na superfície oposta;
- Sistemas de tensão de contacto – Consistem em tensões localizadas numa zona de contacto da garrafa.

A carga de pressão interna gerada por produtos gaseificados, como a cerveja, origina uma tensão de tracção uniforme em toda a garrafa. Como demonstra a figura 3.2, quando uma garrafa é sujeita a pressão interna, o aumento da intensidade da tensão de tracção é proporcional ao diâmetro do corpo da garrafa e inversamente proporcional a espessura de vidro.



**Figura 3.2 - Simulação computadorizada de uma carga de pressão interna numa garrafa de vidro (reproduzido de [21])**

Segundo Kepple [22], o total de tensões actuantes em qualquer ponto da garrafa, num dado momento, será o somatório das tensões provocadas pelas cargas aplicadas neste mesmo instante. Assim, algebricamente, podem ser somadas, individualmente, o resultado de cada carga aplicada indicando a natureza das tensões que originaram a fractura.

### **3.2. Resistência das garrafas de vidro**

Embora considerado um material frágil, as garrafas de vidro têm uma resistência elevada quando comparadas com outros materiais de embalagens.

Segundo Heitz [23], a resistência de materiais frágeis, como o vidro, varia consoante a presença de concentração de tensões em qualquer ponto da superfície do material. De facto, os danos causados na superfície de uma garrafa durante o seu fabrico, transporte e processamento reduzem a resistência da sua superfície devido a criação de pontos de concentração de tensões. Heitz [23] define que o aparecimento de concentrações de tensões ocorre principalmente em duas fases distintas:

1ª fase – Processo de produção (Exemplos: Bolhas ou inclusões sólidas);

2ª fase – Processamento em linhas de enchimento (Exemplos: Riscos ou impactos).

Devido a ausência de qualquer contacto mecânico durante a sua utilização, a resistência da superfície interna de uma garrafa é significativamente mais elevada do que a da superfície externa. No entanto, a resistência das superfícies internas podem variar consoante o seu

processo de moldação. Devido ao contacto metálico do processo *Press&Blow*, a superfície interna de uma garrafa moldada com este processo pode conter inclusões que criam concentrações de tensões e, conseqüente, provocam a diminuição da resistência comparativamente ao processo *Blow&Blow*.

Não sendo considerada uma propriedade intrínseca ao material, a resistência varia consoante a amplitude do factor de concentração de tensões. O principal fenómeno para o aumento de intensidade do factor de concentração de tensões é conhecido por fadiga estática.

### **Fadiga estática**

Citado por Kepple [22], Mould definiu o conceito de fadiga estática como a relação entre a duração da aplicação de uma carga estática e a resistência do vidro.

Embora o vidro seja considerado quimicamente inerte, a sua resistência está directamente relacionada com presença de água. Nestas condições, quando o vidro está sujeito a uma tensão de tracção, a profundidade dos pontos de concentração de tensões aumentam devido ao crescimento lento das microfissuras existentes na superfície [22]. A velocidade de crescimento destas microfissuras relaciona-se directamente com a duração da aplicação das tensões e com o aumento da temperatura da garrafa. Consequentemente, segundo Davis, [24] quanto maior é o teor de água e a temperatura em que se encontra a garrafa, menor será a sua resistência.

### **3.3. Diagnóstico de fracturas em garrafas de vidro**

A análise das fracturas presentes no vidro é a ferramenta fundamental para a determinação da causa de ruptura. Citado por Kepple [22], Preston definiu que as fissuras de uma garrafa de vidro são as principais fontes de informação relativamente ao tipo de carga que as produziu.

Apesar da quebra de uma garrafa acontecer em escassos milissegundos, o desenvolvimento de uma fractura acontece de forma sequencial. Assim, define-se que apenas existe um local, denominado por origem da fractura, onde se inicia todo o sistema de fractura presente na garrafa.

Contudo, a presença de várias fracturas pode indicar a existência de mais do que um sistema de fractura desenvolvido na garrafa. Um sistema primário, considerado por ser responsável pela quebra da garrafa, resulta da criação de dois, ou mais, sistemas de fractura simultaneamente desenvolvidos através de uma mesma carga. A figura 3.3 representa um exemplo corrente de criação de dois sistemas de fractura resultante de um impacto lateral no ombro da garrafa.

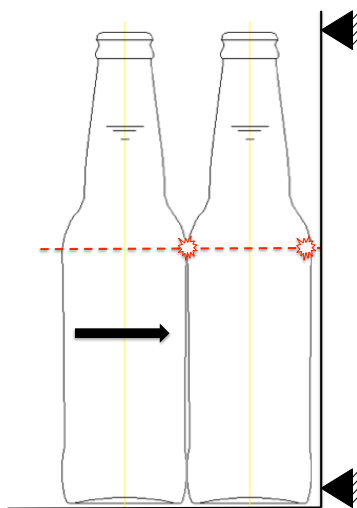


Figura 3.3 – Desenvolvimento de um sistema de fractura resultante de um impacto lateral no ombro

Para Kepple [22] a origem das fracturas encontra-se, geralmente, na superfície interna ou externa das paredes da garrafa onde existem zonas de concentrações de tensões. Uma excepção a esta regra dá-se aquando a existência de inclusões nas paredes do vidro.

Desde a sua origem, as fracturas propagam-se pela superfície danificada e através da parede até a superfície oposta. Devido a fragilidade do vidro, a propagação das fissuras ao longo da garrafa ocorre sempre perpendicularmente em relação a orientação da principal tensão de tracção aplicada. Consequentemente, tal como demonstra a figura 3.4, uma vez que como as fracturas se propagam perpendicularmente a principal tensão, quando duas fracturas se encontram existe uma reorientação segundo um ângulo recto.

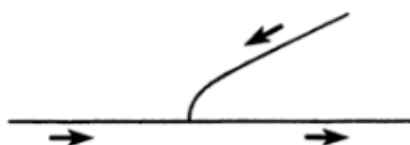


Figura 3.4 - Propagação perpendicular de uma fractura face a outra existente (reproduzido de [22])



Durante a sua propagação, as fracturas criam marcas características que dependem essencialmente da intensidade da tensão a que está sujeita a superfície da garrafa.

### **Linhas de Wallner**

As linhas de Wallner são pequenas ondulações reflectidas pela superfície de fractura resultantes da interação entre o avanço da fractura e as ondas de tensão geradas na garrafa. Estas marcas, ilustradas na figura 3.5, permitem determinar a direcção de propagação da fractura. Uma outra particularidade destas marcas deve-se a distância de ondulação. Em alguns casos, uma análise desta característica permite determinar a velocidade de propagação.

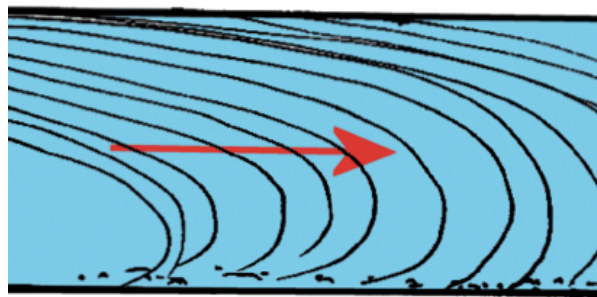


Figura 3.5 - Linhas de Wallner na superfície de fractura indicando o sentido de propagação da fractura (reproduzido de [23])

### **Espelhos de fracturas**

Os espelhos de fracturas são outras marcas características de uma fractura no vidro. Estas podem ser utilizadas para avaliar a intensidade da tensão de tracção e determinar o local de origem do sistema primário de fractura. Na figura 3.6 está representado um espelho de fractura (zona amarela) e a origem da fractura onde se encontra o ponto de concentração de tensão (zona vermelha).

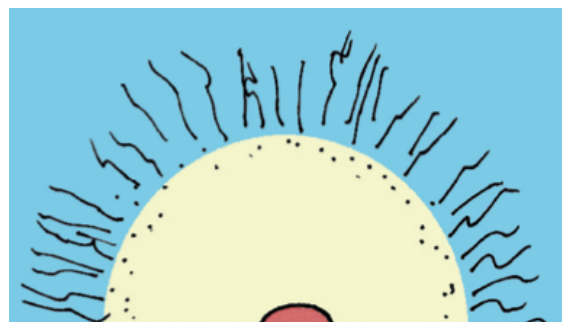


Figura 3.6 - Espelho de fractura resultante de um ponto de concentração de tensão (reproduzido de [23])

### 3.4. Padrões de fractura em garrafas de vidro

Os padrões de fractura são a principal ferramenta para diagnosticar e analisar a causa de uma garrafa partida. Assim como a distribuição de tensões é única para cada tipo de carga aplicada, os padrões de fractura também o são. Consequentemente, os diferentes padrões permitem identificar qual o tipo de carga e a zona da garrafa afectada.

O resultado das principais cargas a que uma garrafa pode estar sujeita apresentam padrões significativamente diferentes. O resultado de várias quebras resultantes de pressão interna estão representados na figura 3.7. Quinn [25] verificou que, neste tipo de carga, as fissuras propagam-se verticalmente desde a superfície externa e ramificam simetricamente segundo o eixo vertical da garrafa. O número de ramificações é directamente proporcional a intensidade das tensões presentes na garrafa. As imperfeições presentes na superfície externa são responsáveis pela origem da fissuração da garrafa. Estas fissuras propagam-se até a superfície interna, onde, devido ao facto de a tensão ser muito superior, ocorre o rebentamento da garrafa.

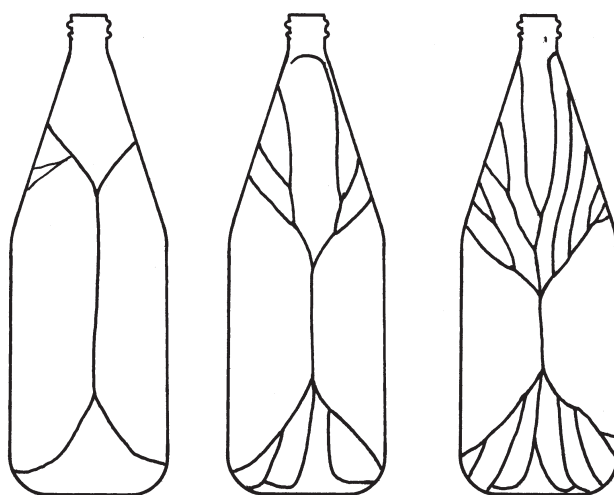
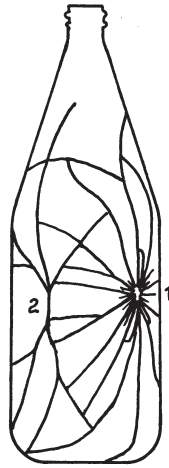


Figura 3.7 - Padrão de fractura para uma carga de pressão interna (reproduzido de [25])

A força de um impacto entre uma garrafa e outro corpo rígido é a que gera o sistema de tensões mais complexo. Como demonstrada pela zona da legenda 1 da figura 3.8, um fractura resultante de um impacto detêm um padrão estrelar na zona de contacto.



**Figura 3.8 - Padrão de fratura para uma força de impacto (reproduzido de [25])**

A força de impacto provoca uma deformação da superfície criando uma tensão de flexão na parede. Esta tensão é responsável pela criação de fracturas em forma de dobradiça a quarenta e cinco graus do local de impacto como representado na legenda 2 da figura 3.8. As fracturas resultantes da tensão de flexão originam a propagação de fissuras até a zona afectada pelo impacto provocando a quebra da garrafa. Assim, verifica-se que a zona de impacto pode não estar sempre associada a origem do sistema de fratura.

O padrão de fratura de uma garrafa rebentada devido ao choque térmico diferencia-se por apresentar um número quase nulo de ramificações como representado na figura 3.9. Uma elevada variação de temperatura gera uma contracção do vidro originando uma tensão que, geralmente, cria fracturas que percorrem toda a base da garrafa e podendo ainda estender-se na parede lateral.



**Figura 3.9 - Padrão de fratura resultante de um choque térmico (reproduzido de [25])**

## **4. *Metodologia***

O objectivo deste capítulo é descrever e analisar os vários passos da metodologia definida para o decorrer desta investigação.

A definição da metodologia é sempre condicionada por algumas limitações. Para este estudo, verificou-se que as principais limitações podem ser consideradas de natureza técnica e tecnológica. Uma vez que, não existe qualquer procedimento normalizado para identificação, recolha e registo de garrafas partidas na linha de enchimento, não havia nenhuma indicação, quantitativa ou qualitativa, que identificasse uma zona crítica onde ocorressem rebentamentos. A nível tecnológico, as limitações prenderam-se com à ausência de equipamentos que permitem avaliar a intensidade das diferentes cargas induzidas nas garrafas ao longo do seu processamento na linha de enchimento.

Face a estas limitações, é importante entender que a observação e o acompanhamento dos processos da linha de enchimento são fundamentais para o desenvolvimento desta investigação. É com base nesse acompanhamento que podem ser definidos os passos necessários para proceder a análise de causas relacionada com o caso de estudo.

Desta forma, a metodologia definida para a realização deste estudo apresenta-se nos seguintes passos:

1ºPasso: Avaliação do processo crítico em termos de garrafas partidas na linha de enchimento;

2ºPasso: Avaliação das causas de garrafas partidas no processo crítico;

3ºPasso: Avaliação das oportunidades de melhoria do equipamento do processo crítico.

### **4.1. *Avaliação do processo crítico na linha de enchimento***

O primeiro passo para a realização deste estudo consiste em avaliar o processo mais crítico da linha de enchimento. Com processo crítico, subentende-se aquele em que as consequências de uma garrafa partida são as mais prejudiciais para a empresa.

Geralmente, as consequências são medidas pelo impacto financeiro criado pelo problema, ou seja, estima-se como mais prejudicial, aquele que resultar em custos mais elevados. Na linha de enchimento, o problema das garrafas partidas pode traduzir-se em custos através de diferentes formas:

- Quantidade de garrafas partidas;
- Quantidade de cerveja desperdiçada;
- Quantidade de recursos desperdiçados (energia, água, vapor, ar comprimido);
- Tempos de paragem da linha de enchimento;
- Quantidade de embalagens e garrafas danificadas pelo rebentamento de outras;
- Perigos à integridade física dos operadores.

Sendo assim, o processo mais crítico da linha de enchimento é o que responde com maior gravidade aos vários pontos acima assinalados.

#### ***4.2. Análise de causas de quebra no processo crítico***

Nesta fase, pretende-se analisar as causas responsáveis pelo rebentamento das garrafas na linha de enchimento. Assim, este passo consiste na avaliação da influência das cargas sofridas durante os vários processos e da existência de outros factores adjacentes que possam estar na origem das quebras.

As cargas exercidas nas garrafas dependem, essencialmente, do local onde estas se encontram na linha de enchimento. Consequentemente, o método inicial aplicado para avaliar a causa de rebentamento consiste em compreender o funcionamento do processo a analisar, identificando as cargas resultantes e recolhendo amostras de garrafas partidas nesse. Estima-se que esta primeira etapa do processo de avaliação possa, em parte, ser realizada através da análise teórica de funcionamento do processo. No entanto, o acompanhamento do processo é fundamental para entender o funcionamento real e, em simultâneo, recolher as amostras de garrafas partidas.

Utilizando os princípios teóricos relativos à análise fractográfica de embalagens de vidro, as amostras recolhidas constituem as provas de uma ou mais causas que possam estar na origem do rebentamento das garrafas. Estas análises podem ser efectuadas nos laboratórios da

empresa Unicer Bebidas, S.A. ou recorrendo a um laboratório especializado, como é o caso, do *CRITT Matériaux Alsace*, sediado em França.

A segunda etapa desta análise consiste em determinar se existem outras causas que, previamente ao processo crítico, estejam a afectar a capacidade da garrafa a resistir às cargas exercidas nesse processo. Para esse efeito, é necessário avaliar as características de resistência das garrafas, recolhendo-as em diversos pontos da linha até ao processo crítico. É importante que as garrafas recolhidas sejam provenientes do mesmo lote de produção, uma vez que, caso não seja cumprida esta especificação, os resultados dos ensaios realizados poderão não ser considerados totalmente válidos. Isto deve-se ao facto de que, apesar da resistência de um lote ser semelhante, nunca é igual à de um outro devido às características que lhes são intrínsecas. Destas características estimam-se que as principais sejam:

- Fornecedor;
- Tipo de garrafas.

Os ensaios utilizados nesse estudo coincidem com os realizados pelas indústrias vidreiras para testar a resistência dos seus produtos. Assim, utilizando o método estipulado pela norma NP3550, é possível avaliar a capacidade da resistência da garrafa à pressão interna. Um outro ensaio, consiste na determinação da capacidade de resistência ao impacto. Não havendo nenhuma norma que determinar o método de realização deste tipo de ensaio, pode ser utilizado o procedimento operacional sugerido pela empresa BA Vidro, S.A. presente no anexo A.

#### ***4.3. Avaliação das oportunidades de melhoria***

Neste estudo, as oportunidades de melhoria consistem em propor soluções que permitam minimizar, ou anular, as causas responsáveis pela quebra de garrafas. Estas soluções devem estar directamente relacionadas com o equipamento do processo avaliado, podendo traduzir-se através da:

- Substituição do equipamento;
- Adaptação de novas soluções ao equipamento existente;
- Substituição de componentes.



## **5.     *Resultados e discussão***

Capítulo propositadamente retirado



## **6.     *Conclusões e trabalhos futuros***

### **6.1.   *Conclusões***

Capítulo propositadamente retirado

### **6.2.   *Trabalhos futuros***

No decorrer desta investigação, face as limitações de natureza tecnológica, ficaram por analisar algumas variáveis consideradas fundamentais para identificar causas adjacentes ao problema de rebentamento na paletizadora. Assim, sugerem-se as seguintes propostas para trabalho futuro:

1. Medição de impactos na linha de enchimento através de um equipamento especializado;

A aquisição deste equipamento permitirá não só conhecer as zonas da linha onde as forças de impacto são mais elevadas, como também, avaliar se a intensidade da força no processo de paletização é suficiente para causar o rebentamento da garrafa sem ter de haver nenhuma outra causa subjacente.

No decorrer deste estudo, foram abordados os fabricantes do equipamento no sentido de agendar uma demonstração do produto acima referido. Sendo que, a demonstração ficou agendada para o final do mês de Outubro, período o qual já se situa fora do tempo do estágio acordado. No entanto, foram disponibilizadas todas as informações e orçamentos relativas ao produto, estando estas disponíveis para consulta no anexo F.

2. Avaliar a resistência da garrafa ao impacto em condições de pressão interna;

Os ensaios de resistência ao impacto foram realizados de acordo com os procedimentos standards adoptados pela empresa BA Vidro, S.A.. Isto implica que não se obtiveram os resultados da resistência da garrafa ao impacto quando sujeita a pressão interna. Assim, sugere-se a realização de ensaios com diferentes pressões internas de forma a entender se esta carga faz variar a capacidade de resistência da garrafa ao impacto na zona do ombro.

3. Recolha e análise de garrafas partidas no processo de paletização;

Sugere-se que sejam recolhidas uma amostra considerável de garrafas partidas e que, através de laboratórios especializados, como é por exemplo o *CRITT Materiaux Alsace*, sejam realizadas análises exaustivas não relativas à causa, mas sim às semelhanças entre as garrafas recolhidas, de modo a que os resultados possam identificar um padrão que permita identificar uma ou mais causas responsáveis pela quebra de garrafas de vidro na linha de enchimento.

## ***Referências bibliográficas***

### ***Bibliografia e Webgrafia***

1. **Unicer Bebidas, S.A.** [Online] [Consultado em: Maio de 2012] <http://www.unicer.pt>
2. **Unicer Bebidas, S.A.** [Online] [Consultado em: Maio de 2012] <http://intranet.unicer.pt>
3. **Krones AG** [Online] [Consultado em: Junho de 2012] <http://www.krones.com>
4. **EBlinger, Hans.** *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets.* Alemanha, 2009. 978-3-527-31674-8.
5. **OCME S.r.l.** [Online] [Consultado em: Junho de 2012] <http://www.ocme.it>
6. **Associação portuguesa de produtores de cerveja** [Online] [Consultado em: Abril de 2012] <http://www.apcv.pt>
7. **BA Vidro, S.A.** [Online] [Consultado em: Maio de 2012] <http://www.bavidro.pt>
8. **Saint-Gobain** [Online] [Consultado em: Maio de 2012] <http://www.saint-gobain-cetev.com.br>
9. **Glass Packaging Institute** [Online] [Consultado em: Maio de 2012] <http://gpi.org>
10. **A.S.B.L., Institut scientifique du verre.** *Méthode de mesure du scuffing sur verre d'emballage consigné;* 2000.
11. **Vidro Mecânica, Lda** [Online] [Consultado em: Maio de 2012] <http://www.vidromecanica.com>
12. **Instituto Português da Qualidade.** *NP3548 - Vidro de embalagem: Vocabulário.* Lisboa : IPQ, 1988.
13. **Instituto Português da Qualidade.** *NP3315 - Vidro de embalagem: Garrafas de vidro de fabricação normal. Relacionamento dimensional e tolerâncias.* Lisboa : IPQ, 1988.

14. **Instituto Português da Qualidade.** *NP3552 - Vidro de embalagem: Características de resistência das garrafas.* Lisboa : IPQ, 1988.
15. **Instituto Português da Qualidade.** *NP3550 - Vidro de embalagem: Ensaio de pressão interior.* Lisboa : IPQ, 1988.
16. **AGR International, Inc** [Online] [Consultado em: Maio de 2012] <http://www.agrint.com>
17. **Instituto Português da Qualidade.** *NP3551 - Vidro de embalagem: Ensaio de carga axial.* Lisboa : IPQ, 1988.
18. **Católica Porto - Escola superior de biotecnologia.** *A embalagem para produtos alimentares.* Porto.
19. **Instituto Português da Qualidade.** *NP3314 - Vidro de embalagem: Ensaio de choque térmico.* Lisboa : IPQ, 1988.
20. **American Society for Testing and Materials.** *C1256 - Standard practice for interpreting fracture surface features,* 2003.
21. **Smay, Gary e Davis, Michael.** *Fracture analysis... Rely on science, not Guess work.* Glass Worldwide, 2011.
22. **Kepple, J. B. e Wasylak. J. S..** *Fracture of Glass Containers* em *Fractography of Glass*, EUA : Tressler, 1994. 978-0-306-44880-5.
23. **Heitz, Jean-Louis e Colin, Cathie.** *Defaillance de casse: l'expertise fractographique,* França : Revue Verre, 2010.
24. **Davis, Michael.** *Glass Bottle design and performance* em *The Wiley Encyclopedia of packaging technology 3rd.ed..* EUA : John Wiley & Sons, 2009. 978-0-470-08704-6.
25. **Quinn, George.** *Fractography of ceramics and glasses.* EUA : NIST, 2007.

**Masitek Instruments, Inc** [Online] [Consultado em: Maio de 2012] <http://masitek.com>